

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електронних приладів та пристроїв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л.Д. Писаренко
“ ____ ” _____ 201__ р.

Дипломний проект

освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»

(назва ОКР)

з спеціальності : **6.050802- Електронні пристрої та системи**

Спеціалізація: **Електронні прилади та пристрої**

на тему: **Система безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту**

Виконав:

студент IV курсу, гр. ДЕ-51

_____ **Стеценко Віталій Анатолійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник старший викладач Бевза О.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультанти:

Нормоконтроль доцент, к.т.н. Чадюк В.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет Е л е к т р о н і к и
Кафедра Електронні прилади та пристрої
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Бакалавр
Спеціальність: 6.050802 – Електронні пристрої та системи
Спеціалізація : Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.
_____ Л.Д.Писаренко
«____» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Стеценко Віталій Анатолійович

1. Тема проекту «Система безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту»

і керівник проекту **Бевза Олег Миколайович**, старший викладач.

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р., № 1405-с

2. Строк подання студентом проекту «4» червня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту: Живлення від промислової мережі 220 В, 50 Гц; світлова індикація наявності та відсутності заземлення оператора; звукова сигналізація відсутності заземлення оператора.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури по сучасним приладам реєстрації та захисту від електростатичного заряду; розробка схем структурної, електричної принципової пристрою; розробка конструкторської документації на друковану плату; висновки; перелік використаної науково-технічної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу: Структурна та електрична принципова схеми пристрою, креслення друкованої плати системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту, плакати з рисунками, графіками та формулами

6. Перелік наукових публікацій:

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по системам та методам антистатичного захисту	17.12.2018-15.02.2019	
2	Розробка структурної та електричної принципової схеми пристрою. Вибір елементної бази	15.02.2019-15.03.2019	
3	Розрахунок параметрів та характеристик пристрою	18.03.2019-12.04.2019	
4	Розробка повної структурної схеми системи, електричної принципової схеми та друкованої плати	15.04.2019-16.05.2019	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслення, плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді	16.05.2019	

Студент гр. ДЕ-51

В.А. Стеценко

Керівник роботи

О.М.Бевза

[illegible]

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

**на тему: «Система безперервного моніторингу браслету
антистатичного захисту»**

РЕФЕРАТ

Система безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту /
Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 6.050802- Електроніка, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. **Стеценко Віталій Анатолійович.** КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-51. – К.: КПІ ім. Сікорського, 2019. – 84 с., іл.36, табл.19.

Ключові слова: ESD, EPA, ДАТЧИК, ЄМНІСТЬ, ЗАЗЕМЛЕННЯ, МОНІТОРИНГ.

Короткий зміст роботи: В дипломному проекті представлено огляд науково-технічної літератури по приладам реєстрації та захисту від електростатичного розряду. Було розроблено систему безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту з наступними параметрами та функціями:

- Світлова індикація
- Звукова сигналізація
- 9 В живлення
- Низьке енергоспоживання
- Захист від випадкового спрацювання
- Підключення до браслету оператора

Показано перспективи використання таких пристроїв для промислового та особистого використання. Приведені параметри та характеристики системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту, розраховані параметри друкованої плати.

В ході виконання завдання дипломної роботи були розроблені структурна та електрична принципова схеми системи і проведено її моделювання.

А Н О Т А Ц І Я

В дипломній роботі представлено огляд науково-технічної літератури по приладам реєстрації та захисту від електростатичного заряду, зазначені переваги та недоліки вже існуючих. Ознайомившись більш детально, можна зробити висновок, що найважливішим є недопущання накопичення статичного заряду на предметах, що контактують з електронікою, тобто забезпечити постійне стікання заряду за допомогою моніторингу надійності заземлення.

Приведено результати розрахунку параметрів та характеристик системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту.

Розроблена конструкція пристрою, структурна та електрична принципова схеми системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту .

S U M M A R Y

In the thesis the review of scientific and technical literature on devices of registration and protection from electrostatic charge is presented, the advantages and disadvantages of already existing ones are mentioned. After examining in more detail, one can conclude that the most important is the non-admission of the accumulation of static charge on objects that are in contact with electronics, that is, to ensure a constant drain of charge by monitoring the reliability of the ground.

The results of calculation of parameters and characteristics of the system of continuous monitoring of an antistatic security bracelet are resulted.

The design of the device, the structural and electric principle schemes of the continuous monitoring system of an antistatic protection bracelet are developed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП.....	12
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	14
1.1 Засоби індивідуального захисту	15
1.2 Методи індикації і моніторингу ESD	19
1.2.1 Реєстратор електричних розрядів.....	20
1.2.2 Вимірювання напруженості статичного поля	21
1.2.3 Вимірювання статичного потенціалу.....	23
1.3 Моніторинг заземлення	24
1.3.1 Монітор заземлення	24
1.3.2 Тестер-стенд.....	25
1.3.3 Комбінований тестер	27
1.3.4 Монітор заземлення на основі ємнісного датчика.....	28
Висновки до розділу 1	29
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ БРАСЛЕТУ АНТИСТАТИЧНОГО ЗАХИСТУ	31
2.1 Розробка структурної схеми системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту	31
2.2 Розробка електричної принципової схеми приладу	33
2.2.1 Розрахунок ємності людини.....	33
2.2.2 Принципова схема приладу.....	34
2.2.3 Вибір мікросхем	35
2.2.4 Вибір транзистора	40
2.2.5 Вибір діоду	41
2.2.6 Вибір трансформатора.....	42
2.2.7 Моделювання схеми в NI Multisim.....	43

Висновки до розділу 2	45
3 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	46
3.1 Вибір та пояснення типу друкованої плати.....	47
3.2 Вибір та пояснення матеріалу друкованої плати	49
3.3 Вибір та пояснення форми та розміру друкованої плати.....	51
3.4 Вибір та пояснення класу точності	51
3.5 Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати.....	54
3.5.1 Розрахунок елементів печатного монтажу за постійним струмом	54
3.5.2 Обчислення номінального значення перехідних отворів	56
3.5.3 Обчислення середнього значення монтажних отворів	56
3.5.4 Обчислення діаметру контактної площадки для двосторонніх ДП виготовлених комбінованим позитивним методом	57
3.6 Електричний розрахунок друкованої плати	59
3.6.1 Обчислення падіння напруги на друкованих провідниках.....	59
3.6.2 Визначення потужності втрат	59
3.6.3 Обчислення вза'ємної ємності паралельних провідників.....	60
3.6.4 Обчислення вза'ємної індуктивності паралельних провідників...	60
3.7 Розрахунок надійності	61
3.7.1 Розрахунок віброміцності	64
3.7.2 Розрахунок теплового режиму.....	67
3.8 Розробка посадкових місць	68
3.9 Створення друкованої плати у САПР	77
Висновки до розділу 3	80
ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	83
Додаток А. Специфікація	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

ESD -	Електростатичний розряд
EPA -	Зона захищенна від ESD
IC -	Інтегральна мікросхема
ДП -	Друкована плата

ВСТУП

Сучасними напрямками розвитку електроніки є мініатюризація і підвищення їх швидкодії. Цей розвиток забезпечується за рахунок збільшення щільності компонентів на платі, підвищення складності мікросхем, зменшення товщини доріжок, використання поверхневого монтажу компонентів, збільшення чутливості компонентів. Але цей розвиток призводить до появи проблем надійності приладу при різких змінах умов навколишнього середовища, особливо на етапі виробництва продукту. Тому для виготовлення складної сучасної електроніки, необхідно не менш складну промисловість, що забезпечить надійність її виготовлення.

Однією із найбільш імовірних причин виходу з ладу приладу є статична електрика. Хоча електростатичний розряд є переносником невеликої кількості енергії, різниця потенціалів і велика швидкість їх змін спричиняють утворення струмів, які можуть миттєво вивести ладу чутливі елементи схеми або критично пошкодити мікросхему.

Найбільш імовірні пошкодження, які завдає ESD:

- тепловий пробій p-n-переходу;
- виникнення в оксиді пустот, ниткоподібних утворень, випаровування оксиду, що призводить до замикань і неправильної роботи IC;
- металева провідники і контакти можуть плавитися і випаровуватися, в результаті відбуваються замикання або розриви, і відмова IC.

Виявлення елементів з такими пошкодженнями є дуже складною задачею. Тому простішим є уникнення ураження компонентів ESD.

Для уникнення пошкоджень від ESD на сучасних заводах електроніки використовують спеціальні стандарти для захисту від ESD. За цими стандартами всі елементи промисловості, що контактують з платами повинні бути покриті спеціальним антистатичним покриттям і заземленні. Також це стосується і людини, яка працює на виробництві.

Одним із особистих способів захисту є антистатичний браслет, який забезпечує стікання накопиченого заряду з тіла. Для контролю надійності підключення браслету до людини використовується системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту.

В даній роботі спроектовано систему безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту на основі датчика ємності, для перевірки надійності під'єднання браслету, перевірки цілісності проводу, поломка роз'єму і повідомлення оператора у разі ненадійного підключення.

Завданням дипломної роботи є розробка системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту. Система має відповідати наступним вимогам:

- Підключення до браслету;
- Невеликі розміри;
- Світлова індикація наявності та відсутності заземлення оператора;
- Звукова сигналізація відключення оператора від заземлення;
- Живлення 9 В.

1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Сучасне виробництво електроніки являє собою складну систему, в якій основними принципами є безперервне виробництво без простоїв і накопичення надлишкових компонентів та готової продукції, і відсутність бракованої продукції.

Найбільший вплив на відсоток бракованої продукції вносить ESD, джерело якого в більшості випадків є людина. Але на даний момент повністю автоматизувати виробництво не можливо. Тому підтримання зони захищеної від ESD є гарантією якості виготовленої продукції і зменшення витрат пов'язані з ремонтом.

Приклади появи ESD: при вологості повітря 65-90% людина, що іде по килимах, генерує потенціал до 1000 В; сидить на стільці з поліетиленовим покриттям - 1500 В. При вологості 10-20% значення напруги становляться відповідно 35 000 і 18 000, у той час як для деяких виробів мікроелектроніки потенціал в десятки вольт є фатальним.

Шляхи утворення електростатичного заряду:

- Трибоелектричний. Явище виникнення носіїв заряду при двох поверхнях, де одна позитивно заряджена, а друга відповідно - негативно. Приклади: переміщення об'єктів по поверхні столу, ходіння по килимовій поверхні, операції з монтажним інструментом.
- Індукційний. Явище наведення електростатичного поля, придії на тіло зовнішнього електричного поля. Приклад: дотик до корпусу мікросхеми статично зарядженим пальцем руки. Зверніть увагу: для пошкодження кристала індукційними струмами не обов'язково навіть торкатися рукою безпосередньо до виводів корпусу мікросхеми.
- Ємнісний. Q (заряд) = C (ємність) \times U (напруга), коли об'єкти віддаляються ємність між ними зменшується, відповідно весь накоплений цією ємністю заряд переходить на тіло. Приклад: при піднятті книги зі столу може відбутись вплив статичної напруги на мікросхему, що лежить поруч. Одна з найбільш небезпечних для електронних компонентів ситуацій: розмотування рулону поліетилену на пакувальному столі вантажника електронних компонентів.[1,2]

1.1. Засоби індивідуального захисту

Людина є основним «генератором» статичного заряду в робочій зоні, тому індивідуальні засоби ESD-захисту є одним з ключових пунктів будь-якої антистатичної програми. Згідно з міжнародними дослідженнями, близько 70% пошкоджень електронних компонентів статичною електрикою викликані ненадійним заземленням персоналу. Вельми поширена помилка, що для надійного захисту від електростатики на робочому місці досить заземлення за допомогою наручного браслета. Між тим, всі міжнародні стандарти, включаючи загальноєвропейський IEC 61340-5-1, наголошують на необхідності використання спеціального одягу і взуття як безпосередньо на робочому місці, так і в будь-якій ESD-захищеній зоні підприємства. Причина в тому, що заземлення за допомогою браслета не запобігає генерації заряду на звичайному (в тому числі нижній білизні) одязі людини. У цьому сенсі найбільш небезпечними джерелами статичного заряду є предмети одягу, які містять синтетичні і вовняні волокна.

Для забезпечення ESD-безпеки на робочому місці і в виробничих приміщеннях слід дотримуватися базові правила:

- використовувати тільки антистатичні матеріали і інструмент;
- забезпечити надійне заземлення всіх об'єктів для заземлення (з яких принципово може стікати заряд через провідник);
- по можливості видалити із зони все діелектрики (матеріали, що мають поверхневий опір більше 100 ГОм, заземлення яких через провідник марне).

При вимушеній присутності таких об'єктів в робочій зоні слід нейтралізувати статичний заряд на них за допомогою іонізації повітря.

Отже, існує два базових способу заземлення персоналу:

- За допомогою наручного браслета, з'єднаного провідником через резистор 1 МОм з шиною заземлення. Разом з іншими засобами індивідуального захисту браслет є найбільш поширеним елементом заземлення. Однак такий варіант зручний лише для сидячого працівника, оскільки обмежує свободу руху.
- За допомогою комплексу «підлогове покриття - взуття». Цей спосіб може використовуватися як первинний засіб заземлення персоналу (замість

браслета), так і поряд з першим. У суміщеному, самому надійному варіанті, стікання заряду здійснюється як через браслет з гарнітурою заземлення на загальну шину, так і через взуття, що проводить струм на провідне покриття підлоги, і далі на загальну шину заземлення.

Який би спосіб не використовувався в якості основного, європейський стандарт ІЕС 61340-5-1 говорить: в контейнер-одяг повинні одягатися абсолютно всі хто входить в ESD-захищену зону, включаючи тимчасових відвідувачів і навіть керівників!

Антистатичний одяг

Почнемо з того, що «ближче до тіла». Антистатичний одяг (халати, футболки, штани, рукавички) виконує наступні функції захисту:

- запобігання генерації заряду на одязі при терті;
- запобігання неконтрольованого розряду статичної електрики зі звичайного (в тому числі нижньої білизни) одягу оператора на чутливі елементи в робочій зоні;
- використовується як вторинний (в доповнення до браслету) засіб заземлення персоналу завдяки тому, що при контакті халата з покриттям сидіння, що проводить струм, і спинками антистатичного стільця, заряд стікає через них на землю.

Антистатичні халати надягають поверх звичайного одягу так, щоб останній був повністю прихований. Американський стандарт ANSI / ESD S20.20 окремим пунктом підкреслює, що всі гудзики халата повинні бути обов'язково застебнуті (щоб уникнути контакту звичайного одягу з зовнішніми чутливими елементами в робочій зоні).

Антистатичний одяг маркується на видному місці стандартним чорно-жовтим символом із зображенням руки в трикутнику під півколом. У відповідності з європейським стандартом ІЕС61340-5-1, час стікання заряду з предметів антистатичного одягу від напруги 1000 В до 100 В не повинно перевищувати двох секунд. У якісної продукції європейських виробників воно зазвичай становить менше секунди.



Рис.1.1. Антистатичний халат

Найбільш популярними предметами антистатичного одягу є халати з довгим рукавом (рис. 1). Халати зшиті з тканини, що містить 96% бавовни і 4% проводить карбонового волокна, що вигідно відрізняє їх за якістю від інших, що використовують більш дешевий склад тканини (60% поліестеру, 37% бавовни, 3% карбонового волокна). Щільність тканини у халатів становить 135 г / м² з міркувань балансу зносостійкості і повітропроникності. Поверхневий опір нового халата лежить в районі 3 МОм, час стікання заряду - не більше 0,17 с. Число прань без суттєвої втрати антистатичних властивостей - не менше 50, тобто халат прослужить надійним засобом антистатичного захисту не менше року при щотижневому пранні.



Рис.1.2. Антистатичні рукавиці

До предметів ESD-одягу можна віднести і рукавички (Рис.1.2) - з чистої бавовни, що мінімізують генерацію статичного заряду - або комбіновані в'язані з проводять волокном для стікання заряду (50% поліамід, 50% провідне волокно).

На робочому місці при роботі з електронікою оператор повинен одягти антистатичний браслет з шнуром, що підключений до землі, для стікання заряду. Для того щоб мінімізувати дискомфорт, браслет повинен бути еластичним - тобто щільно, але не болісно туго прилягати до руки. Неметалевими (виготовленні з тканини з акриловими провідними волокнами на внутрішній поверхні) браслети не викликають алергії і неприємного защемлення волосся. Прохідний опір тканинного браслета від внутрішньої поверхні стрічки до контактної кліпси становить всього кілька кілоом, тому наявність резистора 1 МОм в підключеному до браслету шнурі є умовою дотримання електробезпеки.

Найбільш універсальним і надійним способом заземлення персоналу є використання комплексу «підлогове покриття - взуття». Це набагато більш дорогий варіант, ніж індивідуальне заземлення за допомогою наручного браслету, зате він забезпечує безперервне заземлення при пересуванні персоналу в зоні антистатичного захисту. Відповідно до положень стандарту IEC 61340-5-1, якщо не використовуються антистатичне підлогове покриття і взуття, що проводить струм, то будь-які чутливі компоненти слід транспортувати в захисній упаковці навіть всередині ESD-зони, що явно незручно. Тому стандарт настійно рекомендує починати оснащення робочої зони з антистатичного покриття підлоги, в мінімальному варіанті - з підлогового килимка в рамках ближньої дистанції пересування оператора. Взуття при цьому обов'язково повинно мати струмопровідні властивості для стікання заряду з ноги на килимок, що проводить струм, і через нього на землю. Відповідно до стандарту IEC 61340-5-1 прохідний опір ESD взуття повинен бути у діапазоні від 750 кОм до 35 МОм, якщо варіант «підлогове покриття - взуття» використовується в якості основного (первинного) засобу заземлення, або від 100 кОм до 100 МОм, якщо взуття використовується в якості вторинного (додаткового до браслету) засобу заземлення.[3]

1.2. Методи індикації і моніторингу ESD

1.2.1. Реєстратор електричних розрядів

Реєстратор електричних розрядів являє собою малогабаритний спеціалізований пристрій з радіочастотною частиною, аналого-цифровим блоком, органами управління та індикації, а також інтерфейсом для опціонального підключення до централізованої комп'ютерної системи збору інформації. Принцип дії цього

реєстратора досить простий. Розряди статичної електрики генерують електромагнітне випромінювання: чим потужніший розряд, тим сильніше поле. Прилад є своєрідним «радіоприймачем»: прийнятий через антену сигнал примусово розтягується в часі (бо реальний сигнал може бути занадто коротким, в наносекундному діапазоні) і порівнюється по амплітуді з встановленим пороговим значенням. При перевищенні порога реєструється «ESD-подія», яка супроводжується світловим і звуковим сигналом в моделі.

Поріг чутливості реєстратора можна встановити вручну потенціометром, так і електричним сигналом (рівнем напруги або силою струму) від зовнішньої системи збору даних. В обох випадках підбір оптимальної висоти порога є найважливішим фактором ефективності застосування приладу.

Якщо поріг занадто низький, то почастишають помилкові спрацьовування від малих розрядів статичної електрики і електромагнітних перешкод будь-якого походження за межами контрольованої зони. Якщо ж поріг занадто високий, то ігноруються дійсно значущі ESD-події в робочій зоні



Рис.1.3. Реєстратор електричних розрядів

Наприклад, реєстратор розрядів SCS 770066 EM Aware Monitor (Рис.1.3) має розширений функціонал, і дозволяє не тільки реєструвати розряд, а попереджати. Окрім звичайної реєстрації ESD-події, він також фіксує різкі зміни напруженості поля, яких не достатньо для розряду, і здійснення іонізації, а саме швидкість розсіювання напруженості поля

Порогові значення параметрів при якій реєструється подія і швидкість зміни напруженості повністю регульовані. Реєстратор складається з монітору з алюмінієвим корпусом, РК-дисплея, джойстика управління, дистанційної антени,

релейного терміналу і підключення Ethernet. Події ESD генерують електромагнітне випромінювання. Чим сильніше ESD подія, тим сильніше електромагнітне випромінювання. У EM Aware Monitor є мініатюрний радіоприймач налаштований на виявлення і вимірювання унікальної форми сигналу, що генерується подією ESD. EM Aware Monitor відповідає стандарту Continuous Monitor відповідно до ESD TR1.0-01 і ANSI / ESD STM3.1.

1.2.2. Вимірювач напруженості статичного поля

Вимірювання напруженості статичного поля відоме в кількох варіантах реалізації на американському і європейському ринках.

Зазвичай це компактні і точні прилади для вимірювання напруженості електростатичного поля мають наступні властивості:

- придатність для використання навіть в іонізованому повітрі;
- зручний «кишеньковий» розмір, тривале живлення від батарейки;
- вимір з можливістю тимчасового запису результату ;
- світлова індикація номінальної дистанції від приладу до об'єкта;
- корпус приладу з провідного ESD-пластику з роз'ємом заземлення;
- цифровий дисплей з автоматичним вибором діапазону значень;
- аналоговий вихідний сигнал для підключення до системи збору даних.

Для зняття показань прилад розташовують на відстані 1 дюйм від об'єкта, що досліджується - носія статичного заряду. Через мить на дисплеї з'явиться значення напруженості електричного поля в кіловольт на дюйм. Прилад оснащений функцією запису для зняття показань в «незручних» місцях, де пряме спостереження дисплею неможливо. Точність вимірювання залежить від стабільності заземлення і відстані (1 дюйм) до об'єкта, а також від співвідношення розміру об'єкта і відстані, з якого проводиться вимірювання.

Співвідношення має бути не менше трьох, тобто площа об'єкта повинна бути не менше 3 квадратних дюймів, якщо вимірюється на відстані 1 дюйм. Вимірювання можливі і з більшої відстані при правильному масштабування діапазону до дистанції до об'єкта. Приклад: об'єкт, напруженість поля якого вимірюється з відстані 3 дюйма, повинен мати площу не менше 9 квадратних дюймів .



Рис.1.4. Вимірювач напруженості поля

Наприклад, SCS Static Sensor 718 (Рис.1.4) є портативним кишеньковим пристроєм, що використовується для визначення та вимірювання електростатичного заряду. Він може бути використаний для визначення областей з підвищеною імовірністю розряду і є цінним інструментом для інженера з ESD-контролю. SCS Static Sensor 718 живиться від батареї і має декілька налаштувань для вимірювання:

- вимірювання можна проводити в діапазоні від 0 до ± 1.999 кВ або від 0 до $\pm 19,99$ кВ.
- автоматичне корегування «нуля» вимірювання в разі відхилення після тривалого використання. Повністю відсутнє ручне коригування, щоб уникнути випадкової зміни «нуля» людиною.
- функція HOLD: дозволяє користувачеві «заморозити» відображення вимірювання, для подальшої оцінки.
- автоматичне відключення: заощаджує заряд батареї після 20 хвилин бездіяльності.

1.2.3. Вимірювач статичного потенціалу

При дотику пальцем до пластини на панелі приладу індикатор висвічує значення напруги щодо землі з похибкою не більше 5%.



Рис.1.5. Вимірювач статичної напруги

ACL 600 Stati-Check Meter(Рис.1.5) - це простий, легкий у використанні та недорогий пристрій, який показує, скільки статичної напруги присутньо на людині і що дозволяє зтікати надлишковому заряду з тіла на підключену землю. Цей пристрій можна носити з собою для слідкування за накопиченим зарядом або прикріпити до стіни.

Особливості:

- швидке візуальне відображення статичної напруги від 0 - 19,99 вольт;
- можна перевірити статичну напругу як в позитивній, так і в негативній полярності;
- легкий доступ до землі, просто торкаючись до 10 мм контакту;
- індикатор низького заряду батареї, вбудований в рідкокристалічний дисплей (LCD);
- ланцюг мікро-потужності дозволяє 9-вольтовій лужній батареї постійно працювати протягом приблизно шести місяців;
- стаціонарний футляр, що проводить струм із захисною антистатичною піною;

- виявляє, скільки статички на людині;
- перевіряє будь-яке потенційне джерело статички або засоби для її розсіювання, включаючи наступне: наручні ремені, заземлювачі для п'ят, антистатичне взуття, стільці, настільні килимки, килимки для підлоги, провідники, що йдуть до заземлення, спеціально побудовані підлоги, одяг, антистатичні аерозолі, покриття підлоги, різницю потенціалу між двома людьми або матеріалами, тощо.

1.3. Моніторинг заземлення

1.3.1. Монітор заземлення

Монітор заземлення являє собою електронну порогову схему в нехитрому корпусі з парою світлодіодів і п'єзокристалічним випромінювачем. Прилад негайно повідомляє оператора про порушення цілісності ланцюга індивідуального заземлення, що проходить від тіла людини через антистатичний браслет і монітор заземлення на загальну шину. Причинами порушень можуть стати нещільне прилягання браслета до зап'ястя, знос браслету, поломка роз'єму або обрив шнура.



Рис.1.6. Монітор заземлення

SCR CTC337(Рис.1.6) монітор заземлення і підключення браслету може використовуватись на робочих місцях на виробництві або в інших місцях для моніторингу імпедансу заземлення.[4]

Пристрій виконує функції:

- монітор імпедансу землі - безперервний монітор імпедансу заземлення на одному під'єднаному каналі;

- монітор підключення оператора - забезпечує безперервний моніторинг підключення оператора до монітору через перевірку опору петлі, і фізичної присутності оператора за допомогою двопровідного браслету на зап'ясті.
- монітор напруги на людині - дозволяє здійснювати безперервний моніторинг надмірної напруги на кожному операторі.

1.3.2. Тестер-стенд

Тестер-стенд індивідуальних засобів заземлення використовується для щоденного передопераційного контролю наручного браслету як первинного засобу заземлення, а також взуття як первинного або вторинного засобу заземлення. У простій реалізації стенду оператор встає на металеву плиту, підключає шнур від браслету до гнізда на стенді і вибирає перемикачем режим контролю «браслет», «взуття» або «браслет + взуття ». При натисканні металевої кнопки на стенді проводиться вимірювання опору від неї через браслет з гарнітурою та взуття до підлоги-пластини.

У разі, якщо опір виявляється поза допустимого діапазону за стандартом IEC61340, стенд видає попереджувачий сигнал. Примітка: оскільки опір заземлення через взуття зменшується при зволоженні устілки, тестування необхідно здійснювати після закінчення перших декількох хвилин її носіння.



Рис.1.7. Тестер-стенд

Тестер SCS Dual Combination Tester (Рис.1.7) перевіряє функціональність заземлюючих пристроїв персоналу. Три тести одночасно проводяться незалежно один від одного браслет і кожну ногу. Зелені індикатори вказують на стан успішного проходження. Червоні та жовті вогні і гучний сигнал вказує, коли браслет та/або взуття (ліворуч або праворуч) не пройшли. Контроль доступу до ЕРА може бути додатково застосований за допомогою терміналу на тестері Dual Combination і підключення його до електронного замка або турнікету, який би надавав доступ лише тим, хто пройшов особисті випробування заземлюючих методів захисту. Тестер калібрується за стандартами NIST

Фабричні обмеження тесту встановлено на:

- Наручні реміні: 750 кОм і 10 МОм;
- Взуття: 750 кОм і 35 МОм.

1.3.3. Комбінований тестер

Комбінований тестер поєднує в собі три вимірювальних прилади з цифровим відображенням результату на дисплеї:

- мегаомметр з електродами у вигляді гир для вимірювання поверхневого опору (ламінітів антистатичної мебелі, і підлогових покриттів, тканин), а також прохідного опору до землі;
- гігрометр для вимірювання відносної вологості повітря (вологість – важливіший параметр, що фіксується при вимірюванні опору);
- термометр для діапазону від 0 до 38 ° С.

Принцип роботи:

Для вимірювання опору відносно землі необхідно підключити клему до вимірюваного об'єкту, другу на землю. Виміряне значення з'явиться на дисплеї.

Для вимірювання стійкості об'єкта до статички, необхідно поставити на його краї клему, обрати напругу випробування, і чекати поки на дисплеї не з'явиться напис. Також на дисплеї показуватимуться значення температури і вологості.[5]



Рис.1.8. Комбінований тестер

Особливості MULTIMEG (Рис.1.8)

- цифровий дисплей;
- вимірює поверхневий опір / опір до 10^3 - 10^{12} Ом;
- вимірює відносну вологість від 10% до 90% RH;
- вимірює температуру: 0 °C до 37 °C;
- Автоматичне обнуління та вимикання живлення змінного струму або постійного струму;
- Відповідає стандарту ANSI / EOS / ESD 11.11.

1.3.4. Монітор заземлення на основі ємнісного датчика

Монітор вимірює ємність оператора, що під'єднаний до нього за допомогою браслету. В залежності від площі до якої приєднано браслет (є контакт браслету з оператором чи ні) змінюється ємність. Прилад таким чином фіксує надійність під'єднання браслету, і у випадку відсутності контакту між браслетом та оператором або обриву провіднику до браслету спрацьовує світлова та звукова сигналізація.[6,7,8]

Висновки

Реєстратор електричних розрядів фіксує електромагнітне випромінювання, яке викликано розрядом, таким чином вказуючи на надійність існуючого заземлення приладів і ефективність існуючого антистатичного захисту.

Вимірювач напруженості поля вказує на місця, де найбільш імовірний розряд і якість заземлення на робочому місці.

Вимірювач статичного потенціалу фіксує значення накопиченого потенціалу на людині і перевіряє таким чином засоби індивідуального захисту.

Монітор заземлення вимірює опір браслету з людиною, перевіряючи якість підключення браслету і його зношеність.

Тестер-стенд вимірює опір браслету і взуття, перевіряючи надійність засобів індивідуального захисту.

Комбінований тестер може вимірювати поверхневий опір робочого місця, стійкість предметів до статички і умови навколишнього середовища.

Монітор заземлення на основі ємнісного датчика фіксує надійність під'єднання браслету фіксуючи підключену ємність.

Більшість існуючих пристроїв для моніторингу та індикації ESD мають просту реалізацію, малу вартість матеріалу для виготовлення і процесу збірки, але мала кількість конкурентів на ринку обладнання для захисту від ESD і необхідність цих приладів для промисловості створили завищену ціну на них . Отже розробка даного пристрою є доцільною.

Всі представлені системи антистатичного захисту характеризуються такими якостями: наявність світлової індикації, звукової сигналізації, ESD захист у реальному часі, компактні розміри і портативність.

Серед представлених методів антистатичного захисту метод вимірювання ємності є найбільш простим і ефективним, при цьому виконуючи функцію захисту від електростатичного заряду, перевіряючи під'єднання браслету з людиною до заземлення, і саме тому він був обраний для реалізації

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ БРАСЛЕТУ АНТИСТАТИЧНОГО ЗАХИСТУ

2.1. Розробка структурної схеми системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту

Структурна схема зображена на рис. 2.1. складається з наступних блоків:

- Блок живлення
- Блок вимірювання ємності
- Браслет оператора
- Звукова сигналізація
- Світлова індикація

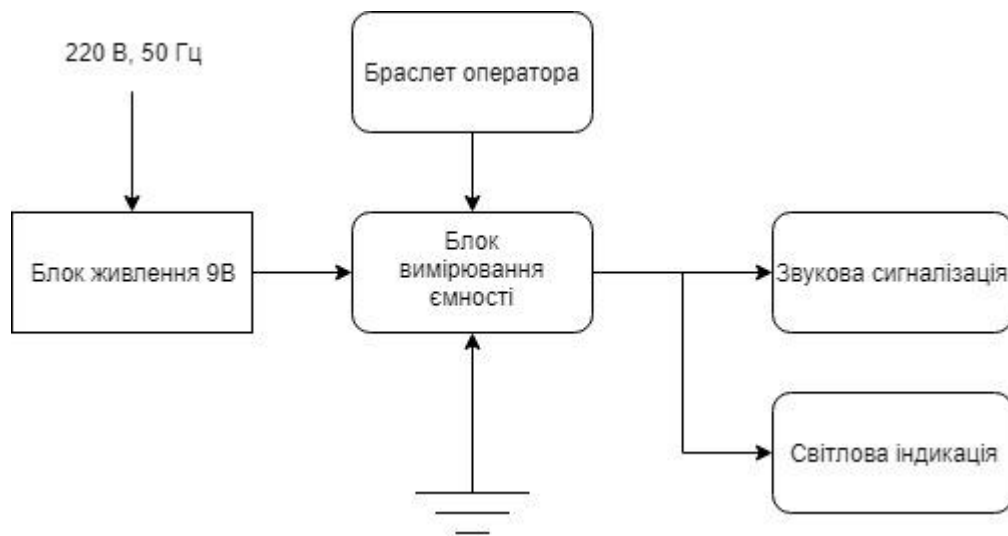


Рис. 2.1. Структурна схема приладу

Блок живлення в 9 В призначений для живлення схеми.

Браслет оператора підключається за допомогою еластичного ізольованого проводу, що не буде обмежувати рухи і не буде приймати наведені струму.

Блок вимірювання ємності необхідний для фіксації ємності, що підключена до приладу, таким чином визначаючи чи під'єднаний оператор.[9,10]

Звукова сигналізація, повідомляє оператора про зникнення порушення цілісності з'єднання браслету і заземлення.

Світлова індикація вказує на надійність з'єднання або на його відсутність.

Серед наведених блоків найважливішим є блок вимірювання ємності, так як він виконує головну функцію приладу – аналізує чи під'єднаний оператор чи ні.

Блок живлення забезпечує живлення всього пристрою.

Блоки світлової індикації і звукової сигналізації необхідні для інформування оператора про під'єднання браслету.

2.2 Розробка електричної принципової схеми приладу

2.2.1 Розрахунок ємності людини

Для розрахунку параметрів схеми, необхідно визначити ємність на яку повинен реагувати прилад, а саме ємність людини.

Так як при розрахунку необхідна тільки площа тіла людини, як теоретичну модель для розрахунку ємності виберемо сферу з таким же значенням площі поверхні.

Формула ємності сферичного конденсатора:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R \quad (1)$$

Де

- ϵ_0 – діелектрична стала;
- ϵ – діелектрична проникність повітря;
- R – радіус сферичного конденсатора.

Як середнє значення площі людини виберемо $1,73 \text{ м}^2$, так як це значення отримано Європейською організацією з дослідження та лікування раку для 3000 дорослих пацієнтів в процесі досліджень.

З формули площі сфери отримаємо:

$$R = \sqrt{\frac{S}{4\pi}} = \sqrt{\frac{1,73}{4 \cdot 3,14}} = 0,371 \text{ м} \quad (2)$$

Тоді за формулою (1) $C \approx 41 \text{ пФ}$.

2.2.2 Принципова схема приладу

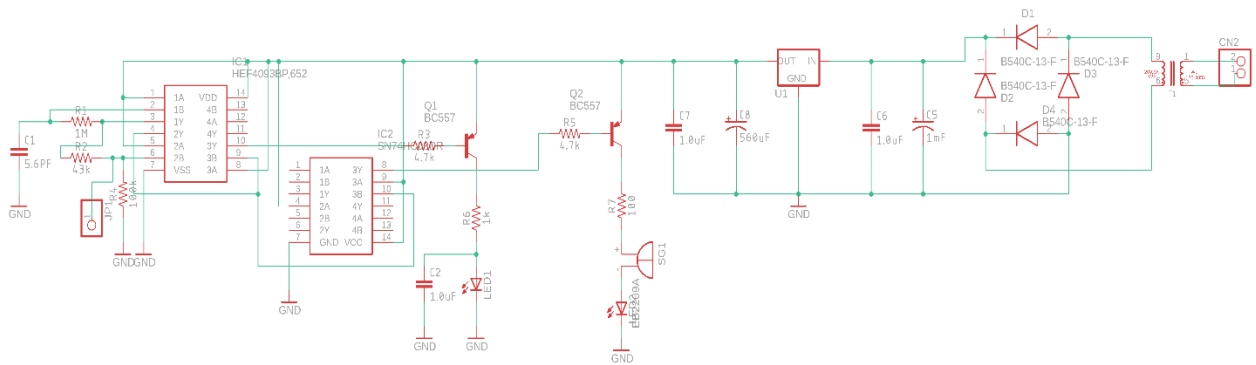


Рис.2.2. Схема електрична принципова приладу

На рис.2.2. зображена принципова схема приладу, для якої далі обираємо компоненти.[11]

2.2.3 Вибір мікросхем

HEF4093BP складається з чотирьох 2І-НІ-елементів. Кожен вхід має тригерну схему Шмітта. Перемикання відбувається в різних точках для позитивних і негативних сигналів. Різниця між позитивною напругою($V_T +$) і негативною напругою ($V_T -$) визначається як напруга гістерезису (V_H). Рекомендований діапазон живлення VDD від 3 В до 15 В, відносно до VSS (зазвичай землі). Невикористані входи повинні бути підключені до VDD, VSS або іншого входу. На рис.2.3. показано зовнішній вигляд мікросхеми. В таблиці 2.1. і 2.2. показані її характеристики.



Рис.2.3. Зовнішній вигляд HEF4093BP

Таблиця 2.1.

Статичні характеристики

Позначення	Назва	Min	Max	Одиниці

V_{OH}	Напруга логічної 1	9.95	-	V
V_{OL}	Напруга логічного 0	-	0.05	V
I_{OH}	Струм логічної 1	-	-1.3	mA
I_{OL}	Струм логічного 0	1.3	-	mA
I_{DD}	Струм живлення	-	15	μ A
C_I	Вхідна ємність	-	7.5	pF

Таблиця 2.2.

Динамічні характеристики

Позначення	Назва	Середнє	Max	Одиниці
t_{PHL}	Час затримки переходу з 1 в 0	40	80	ns
t_{PLH}	Час затримки переходу з 0 в 1	40	80	ns
t_{THL}	Час переходу з 1 в 0	30	60	ns
t_{TTL}	Час переходу з 0 в 1	30	60	ns

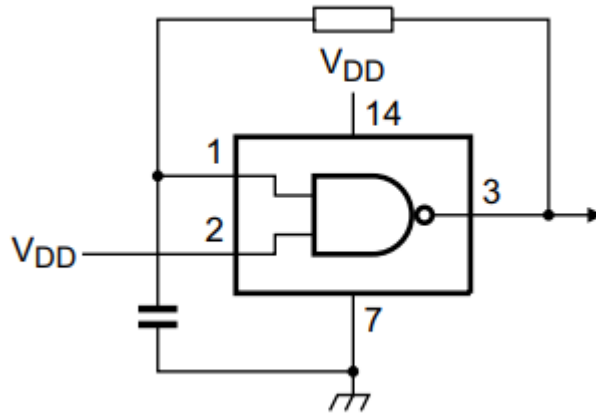


Рис.2.4. Типове включення елементу мікросхеми HEF4093BP

На рис.2.4. зображена схема включення елементу мікросхеми в якості мультівібратора для задання робочої частоти приладу.

Особливості:

- Тригер Шмітта попередньо підсилює вхідний сигнал;
- Повністю статична робота;
- Існуючі робочі напруги 5 В, 10 В і 15 В;
- Стандартизовані симетричні вихідні характеристики;
- Робоча температура від -40 °С до +85 °С;
- Відповідає стандарту JESD 13-B.

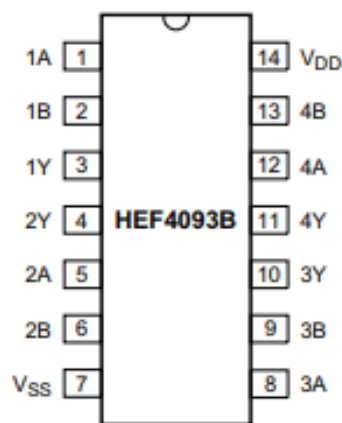


Рис.2.5. Розташування ввідів-виводів на HEF4093BP

Під час розробки схеми обираємо саме HEF4093BP через наявність достатньої кількості елементів 2І-НІ, можливість створення мультівібратора на основі мікросхеми і малий струм живлення. На рис.2.5. показано розташування виводів мікросхеми.[12]

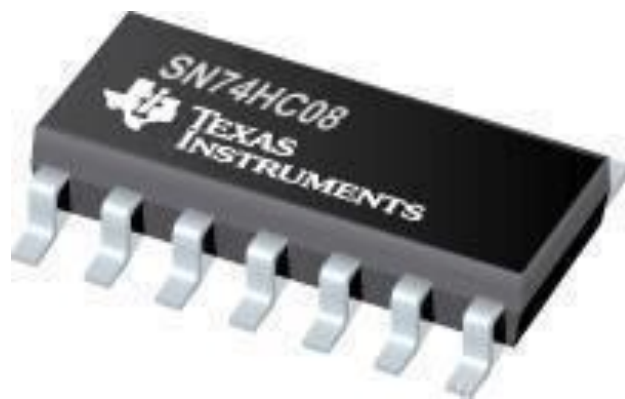


Рис.2.6. Зовнішній вигляд SN74HC08

SN74HC08 містить чотири незалежні 2І елементи. Вони виконують булеву функцію $Y = A \bullet B$ в позитивній логіці. На рис.2.6. показано зовнішній вигляд мікросхеми. В таблиці 2.3. і 2.4. показані її характеристики.

Таблиця 2.3.

Статичні характеристики

Позначення	Назва	Min	Max	Одиниці
V_{OH}	Напруга логічної 1	5.9	-	V
V_{OL}	Напруга логічного 0	-	0.1	V
I_{DD}	Струм живлення	-	20	μA
C_I	Вхідна ємність	-	10	pF

Таблиця 2.4.

Динамічні характеристики

Позначення	Назва	Середнє	Max	Одиниці
t_P	Час затримки	8	17	ns
t_T	Час	6	13	ns

	переходу			
--	----------	--	--	--

Особливості:

- Широкий діапазон робочих напруг від 2 В до 6 В;
- Низька споживана потужність: максимальна I_{CC} 20 мкА;
- Типовий час реакції $t = 8$ нс при 6 В;
- Вихідний сигнал ± 4 мА при 5 В;
- Низький вхідний струм 1 мкА (максимальний).

На рис.2.7. показано розташування виводів мікросхеми.[13]

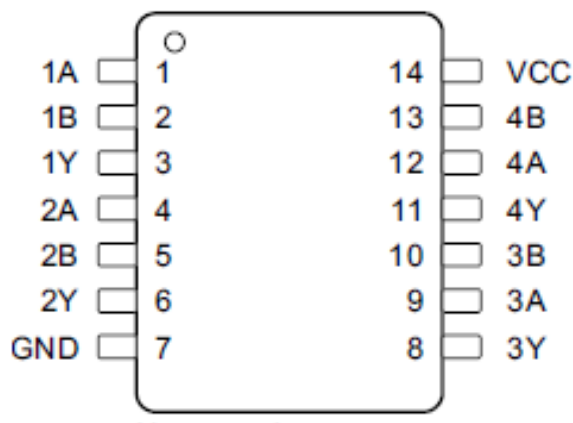


Рис.2.7. Розташування виводів-выводів на SN74HC08

Стабілізатор серії L7800 триногий позитивний регулятор напруги доступний в корпусах TO-220, TO 220FP, TO-220FM, TO-3 і D2PAK з кількома фіксованими вихідними напругами, що робить його корисним в широкому спектрі застосування. Для кожного типу використовується обмежування внутрішнього струму, теплова зупинка і безпечна зона захисту, що робить його дуже надійним. При достатньому тепловідведенні забезпечується вихідний струм понад 1А. Хоча і розроблений в першу чергу як стаціонарні регулятори напруги пристрої можна використовувати з зовнішніми компонентами отримати регульовану напругу і струми. На рис.2.8. показано зовнішній вигляд мікросхеми.

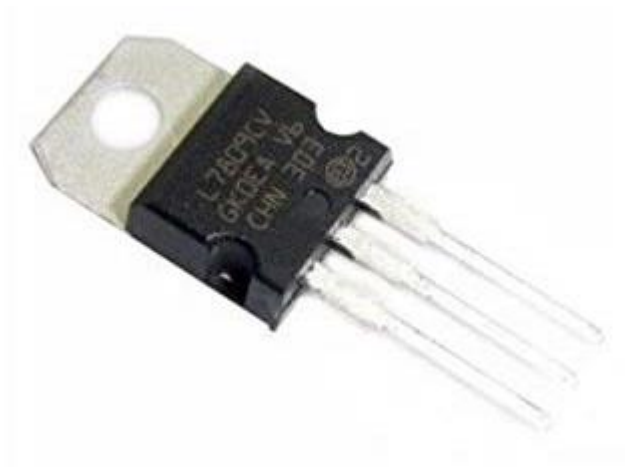


Рис.2.8. Зовнішній вигляд мікросхеми L7809

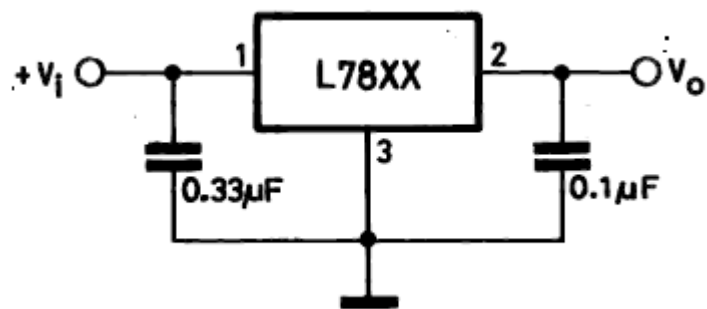


Рис.2.9. Типове включення мікросхеми L7809

На рис.2.9. зображена схема включення мікросхеми в якості фіксованого регулятора напруги. На таблиці 2.5. показані характеристики мікросхеми.[14]

Таблиця 2.5.

Характеристики

Позначення	Назва	Номінальне	Одиниці
V_o	Вихідна напруга	9	V
V_d	Падіння напруги на елементі	2	V
I_d	Струм спокою	8	mA
R_o	Вихідний опір	17	МОм

2.2.4 Вибір транзистора

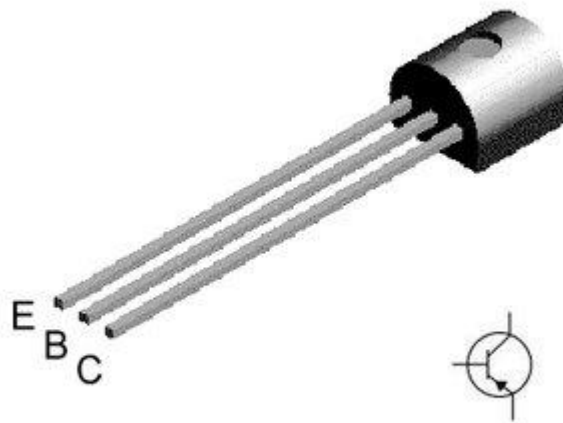


Рис.2.10. Зовнішній вигляд транзистора BC557

PNP транзистори можуть використовуватися в драйверах підсилювача звуку, малопотужних пристроях, HI-FI підсилювачах, схемах обробки сигналів телевізійних приймачів та в якості ключа. На рис.2.10. показано зовнішній вигляд транзистора. В таблиці 2.6. показані його характеристики.[15]

Таблиця 2.6.

Характеристики

Позначення	Назва	Значення	Одиниці
V_{CE}	Напруга колектор-емітер	45	V
V_{CB}	Напруга колектор-база	50	V
V_{EB}	Напруга емітер-база	5	V
I_{CM}	Максимальний струм через колектор	200	mA
I_{BM}	Максимальний струм через базу	200	mA
I_{EM}	Максимальний струм через емітер	200	mA
T_{stg}	Температурний діапазон	-65...+150	°C

2.2.5 Вибір діоду



Рис.2.11. Зовнішній вигляд діоду B540C

На рис.2.11. показано зовнішній вигляд діоду. В таблиці 2.7. показані його характеристики.[16]

Таблиця 2.7.

Характеристики

Позначення	Назва	Значення	Одиниці
V_R	Максимальна зворотня напруга	40	V
I_O	Середній вихідний струм	5	A
V_{FM}	Падіння напруги	0,55	V
C_j	Типова ємність переходу	300	pF

2.2.6 Вибір трансформатора

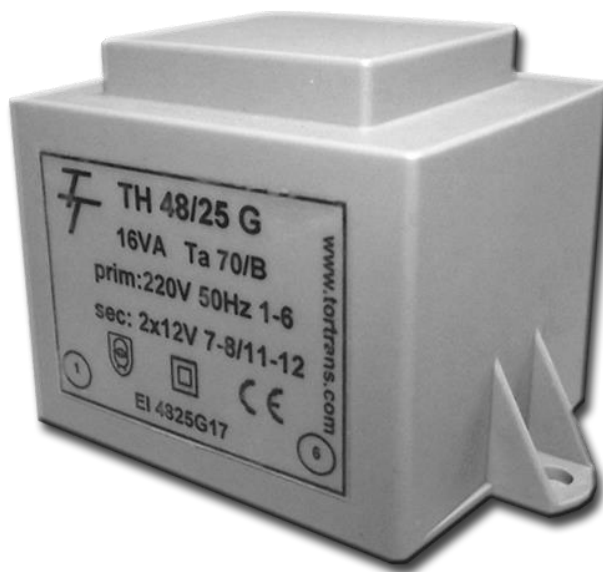


Рис.2.12. Зовнішній вигляд трансформатору

На рис.2.12. показано зовнішній вигляд трансформатору В таблиці 2.8. показані його характеристики.[17]

Таблица 2.8.

Характеристики

Позначе ння	Назва	Значення	Одиниц і
V_{IN}	Вхідна напруга	220	V
V_{OUT}	Вихідна напруга	12	A

2.2.7 Моделювання схеми в NI Multisim

Для перевірки працездатності розробленої схеми, було проведено її моделювання в спеціалізованій комп'ютерній програмі.

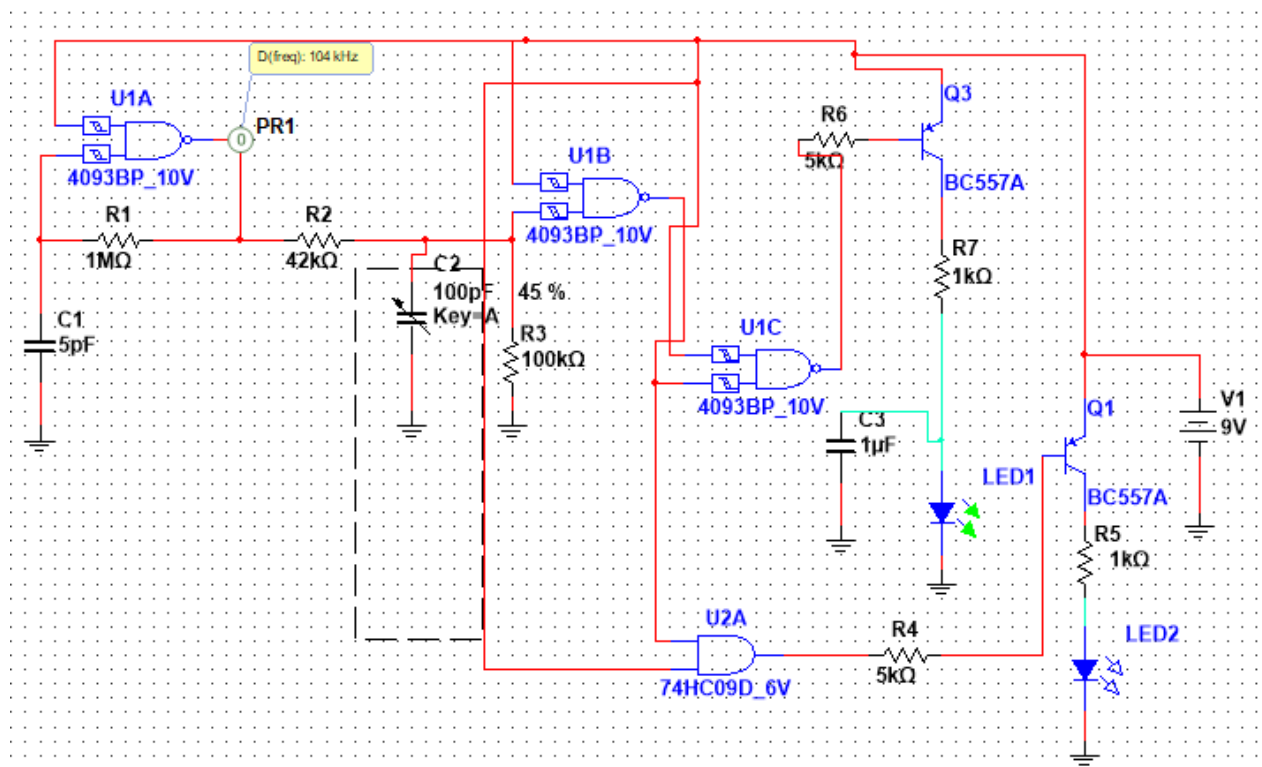


Рис.2.13. Змодельована схема в спеціалізованій комп'ютерній програмі при підключеній ємності

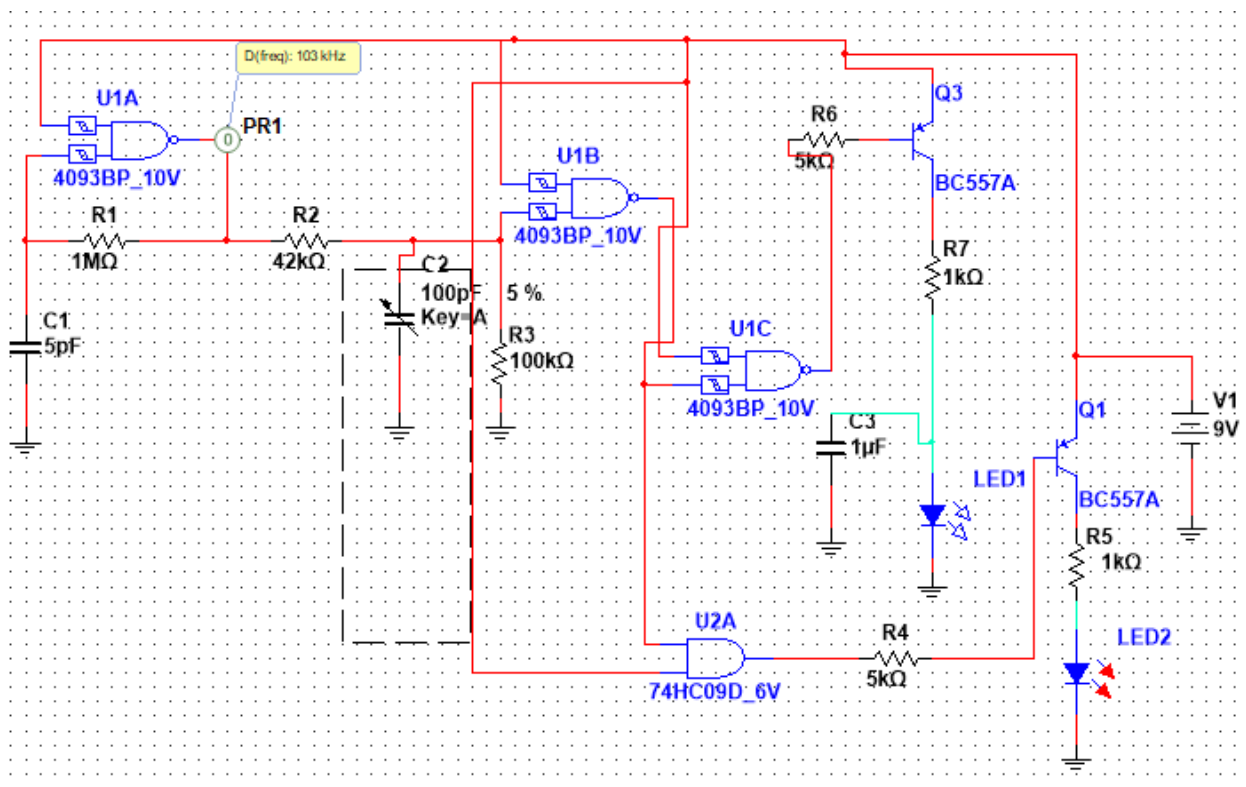


Рис.2.14. Змодельована схема в спеціалізованій комп'ютерній програмі при відключеній ємності

З Рис.2.13. видно, що при ємності $C > 40$ pF, що еквівалентне підключеному браслету одягнутому на оператора, загоряється зелений світлодіод.

З Рис.2.14. видно, що при ємності $C < 40$ pF, що еквівалентне відключеному браслету, загоряється червоний світлодіод. Отже можна зробити висновок, що спроектована схема працює коректно.

Висновки

Була розроблена структурна схема системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту, що дозволяє вирішити задачі поставленні в технічному завданні, були описані компоненти системи, визначені їх функції, визначені взаємозв'язки між ними.

Було обрано мікросхеми з необхідними логічними елементами високою швидкістю і малим часом затримки.

Також схему було промодельовано в NI Multisim, де було перевірено її працездатність і коректність роботи.

Була розроблена схема електрична принципова системи безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту, яка має наступні функції та параметри:

- Світлова індикація
- Звукова сигналізація
- Живлення 9 В
- Низьке енергоспоживання (близько 35 мкА)
- Захист від випадкового спрацювання

3 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Друкована плата (ДП) - це пластина, виконана із плоского ізоляційного діелектрика з отворами, пазами, вирізами та провідними доріжками, які використовуються для монтування радіоелементів та функціональних вузлів. Друкована плата робиться на основі електричної принципової схеми. Для проектування друкованої плати необхідно виконати наступні завдання:

- обрати тип ДП;
- обрати матеріал ДП;
- обрати клас точності ДП;
- конструкторсько-технологічний розрахунок ДП;
- електричний розрахунок ДП;
- розрахунок теплового режиму ДП;
- розрахунок віброміцності ДП;
- розрахунок надійності;
- розробка посадкових місць;
- створення плати у САПР;

3.1 Вибір та пояснення типу друкованої плати

Відповідно ДСТУ 2646-94 є 3 типи друкованих плат: односторонні (ОДП), двосторонні (ДДП), багатошарові (БДП). Бувають гнучкі або жорсткі друковані плати. Щоб обрати тип плати, розглянемо переваги та недоліки всіх типів та основне їх застосування.

Переваги ОДП:

- Низька вартість конструкції;
- Простота виготовлення за рахунок установа навісних елементів на поверхню плати з боку, протилежній стороні пайки та без додаткової ізоляції.

Недоліки ОДП:

- Низька теплова і механічна стійкість контактних майданчиків;
- Низька інтеграція, не більше 1,5 ел/см³.

Застосування:

- Для нескладних схем.

Переваги ДДП:

- Більша інтеграція ніж в ОДП;
- Підвищена механічна міцність навісного монтажу.

Недоліки ДДП:

- Більша вартість та складність виготовлення ніж в ОДП;

Використання:

- В вимірювальній техніці;
- Системах керування;
- Системах автоматичного регулювання.

Переваги БДП:

- Найбільша інтеграція;
- Підвищена стійкість до механічних і кліматичних умов;
- Менші розміри і кількість контактних майданчиків.

Недоліки БДП:

- Найбільша вартість та складність виготовлення;
- Низька придатність до ремонту.

Для розробки друкованої плати пристрою, раціонально використовувати двосторонній тип, оскільки він дасть можливість забезпечити малі розміри друкованого вузла за невелику вартість реалізації. ОДП збільшить результуючі габаритні розміри. Використання БДП не є доцільним, через відсутність потреби в великій кількості друкованих провідників.

3.2 Вибір та пояснення матеріалу друкованої плати

Матеріал для ДП обирається згідно до ГОСТ 10316-76. Розглянемо кілька для створення плати матеріалів:

- Гетінакс - електроізоляційний шаруватий пресований матеріал, на паперовій основі, просочений фенольдегідною або епоксидною смолою. Має високі електроізоляційні властивості та добре піддається механічній обробці.
- Текстоліт - шаруватий композитний матеріал на основі тканини з волокон змочених фенольдегідною або епоксидною смолами. Має високі механічні властивості та теплостійкість, добре обробляється і шліфується.
- Склотекстоліт - для його виготовлення застосовують скляні тканини, змочені спеціальними смолами. Відрізняється високою теплостійкістю (до 180 °C), а також високими електроізоляційними і механічними властивостями, добре обробляється.

Для пристрою в якості матеріалу основи друкованої плати обирається склотекстоліт, через вимоги підвищеної механічної міцності.

Фольгований склотекстоліт буває одно- і двошаровим. Схему, що розробляється, можливо розвести в одному шарі, але при цьому збільшаться розміри плати. Тому чином, обирається двосторонній фольгований склотекстоліт з металізацією отворів.

Обираємо товщину фольги 35 мкм, що є достатнім для більшості пристроїв, в тому числі, і пристрою, що розробляється. Товщина основи з фольгою обирається 1,5 мм для забезпечення хороших механічних характеристик плати.

Матеріали друкованих плат

Назва матеріалу	Марка матеріалу	ДСТУ, ТУ	Товщина фольги, мкм	Товщина основи з фольгою, мм
Склотекстоліт фольгований двобічний	СФ-2-35	ДСТУ 10316-68	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
	СФ-2-50		50	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
	FR-4	IPC4101C	12, 18, 35, 70, 105	0,05 – 3,5
Склотекстоліт теплостійкий фольгований двобічний	СТФ-2	ТУ 16-503.161-77	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0

3.3 Вибір та пояснення форми та розміру друкованої плати

Прямокутна форма друкованої плати обирається через те, що так раціональніше розташовувати елементи на схемі та сама плата буде розміщена у прямокутному корпусі.

Довжини сторін друкованої плати відповідно до ДСТУ 10317-79 повинні бути кратними 2,5 мм при довжині до 100 мм.

З урахуванням вимог ГОСТ плата буде розміром 60×67,5 мм.[18]

3.4 Вибір та пояснення класу точності

ГОСТ 23751-86 передбачає п'ять класів точності (табл. 3.2.). Згідно з наведених в таблиці 3.3 геометричних розмірів та параметрів виводів мікросхем,

необхідно робити плату другого класу точності, так як є достатнім крок координатної сітки 0,2 мм для правильного розміщення компонентів.

Таблиця 3.2.

Класи точності друкованих плат

Опис	Умовне позначення	Номінальні значення основних розмірів для класу точності				
		1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника	t , мм	0,7 5	0,4 5	0,2 5	0,1 5	0,1 0
Відстань між краями сусідніх елементів	S , мм	0,7 5	0,4 5	0,2 5	0,1 5	0,1 0
Гарантований пояс	b , мм	0,3 0	0,2 0	0,1 0	0,0 5	0,0 25
Відношення мінімального діаметру металізованого отвору до товщини ДП	γ	0,4 0	0,4 0	0,3 3	0,2 5	0,2 0

Таблиця 3.3

Розміри виводів конструктивних елементів

Назва КЕ	Ширина виводу, мм	Відстань між центрами двох сусідніх виводів, мм	Відстань між двома сусідніми виводами, мм
Резистор SMD	1,20	—	—

Конденсатор SMD	3,2	—	—
HEF4093BP	0,53	2,54	2,01
SN74HC08	0,35	1,27	0,92
BC557A	0,5	—	—
B540C	3	—	—
L7809	0,8	—	—
Резистор	0,5	—	—
ЕВ2209А	0,8	—	—
Світлодіод	0,6	—	—
Трансформато р	0,8	-	5

3.5 Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати

3.5.1 Розрахунок елементів печатного монтажу за постійним струмом

Ширина друкованого провідника визначається з допустимої ширини провідника в залежності, який саме струм через нього протікає та яке падіння напруги на ньому. Мінімальна ширина провідника також обмежується класом точності плати, а тому кінцеву ширину визначають за формулою:

$$b_{\text{дп}} = \max(b_{\text{min ГОСТ}}, b_{\text{min } I}, b_{\text{min } U}) , \quad (1)$$

де $b_{\text{min ГОСТ}}$ – мінімальна ширина провідника відповідно до ГОСТ 23751-86;

$b_{\text{min } I}$ - мінімальна ширина провідника за постійним струмом;

$b_{\text{min } U}$ - мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

Згідно обраного другого класу точності: $b_{\text{min ГОСТ}} = 0,45$ мм.

Визначаємо мінімальну ширину провідника за струмом, який протікає через нього:

$$b_{\text{min}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{дон}} \cdot t} \quad (2)$$

$j_{\text{дон}} = 48 \text{ А/мм}^2$ – допустима густина струму с $h_{\phi} = 35 \text{ мкм}$, виготовлених комбінованим позитивним методом;

t – товщина провідника:

$$t = h_{\phi} + h_{\text{хм}} + h_{\text{зм}}. \quad (3)$$

$h_{\phi} = 35 \text{ мкм}$ – товщина мідної фольги.

$h_{\text{хм}} = (0,005 \div 0,008) \text{ мм}$ товщина хімічно осадженої міді;

$h_{\text{зм}} = (0,05 \div 0,06) \text{ мм}$ товщина гальванічно осадженої міді;

$$t = 0,035 + 0,007 + 0,055 = 0,097 \text{ (мм)}$$

I_{max} – максимальний постійний струм в провіднику визначається з а схеми з таблиці 4.4:

Визначимо максимальний струм споживання плати I_{max} . Для цього складемо таблицю струмів споживання всіх мікросхем, які застосовуються в приладі.

Таблиця 3.4.

Максимальний струм споживання мікросхем приладу

Компонент	$I_{жив}, мкА$	Кількість
HEF4093BP	15	1
SN74HC08	20	1

$$I_{max} = \sum I = 15 + 20 = 35 (мкА).$$

З формули :

$$b_{min} = \frac{0,35 \cdot 10^{-6}}{48 \cdot 0,097} = 0,075 (мкм).$$

Мінімальна ширина провідника відповідно до падіння напруги на ньому визначається за формулою:

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{t_{пров} \cdot U_{доп}} \quad (4)$$

де $\rho = 0,0175 (Ом \cdot мм^2/м)$ - питомий опір провідник;

$L_{пров} = 0,11 м$ - довжина найдовшого провідника на платі;

$U_{доп} = 5\%V_{cc} = 0,45 В$ - допустимий спад напруги на провіднику.

$$b_{minU} = \frac{35 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0175 \cdot 0,11}{0,45 \cdot 0,097} = 1,54(мкм).$$

Отже, ширина силового провідника повинна бути не меншою, ніж:

$$b_{дп} = \max(b_{min \text{ ГОСТ}}, b_{min I}, b_{min U}) = b_{min \text{ ГОСТ}} = 0,45 (мм)$$

Провідники обираємо шириною 0,45 мм, що є задовільною для другого класу точності.

3.5.2 Обчислення номінального значення перехідних отворів

$$d = d_n + |\Delta d_{но}| \quad (5)$$

де,

$d_n = 0,6$ (мм) – мінімальний діаметр отвору, відповідно до класу точності;

$\Delta d_{но}$ – відхилення від середнього діаметра монтажного отвору;

$r = 0,05 \div 0,15$ мм – мінімальний і максимальний діаметром виводу.

Для мікросхем:

$$d = 0,6 + 0,05 = 0,65(\text{мм})$$

3.5.3 Обчислення середнього значення монтажних отворів

$$d = d_z + |\Delta d_{но}| + r \quad (6)$$

де,

d_z – максимальний діаметр вивода компоненту;

$\Delta d_{но}$ – відхилення від середнього діаметра монтажного отвору;

r – різниця між максимальним діаметром монтажного отвору і мінімальним діаметром виводу;

Для мікросхем:

$$d = 0,55 + 0,05 + 0,15 = 0,75(\text{мм}).$$

Максимальний діаметр отвору для контактної площадки:

$$\max d_{мо} = d + \Delta d + (0,1 \div 0,15) \text{ мм} = 0,75 + 0,05 + 0,15 = 0,95 (\text{мм}),$$

3.5.4 Обчислення діаметру контактної площадки для двосторонніх ДП

виготовлених комбінованим позитивним методом

Мінімальний необхідний діаметр майданчика

$$d_{\text{км}} = \max d_{\text{мо}} + 2b_{\text{по}} + 2\delta_0 + 2\delta_{\text{км}} \quad (7)$$

де,

$\max d_{\text{мо}}$ - максимальний діаметр отвору у ДП;

$b_{\text{по}} = 0.2 \text{ мм}$ – ширина пояса контактного майданчика;

$\delta_0 = 0,07 \text{ мм}$ – відхилення встановлення центру отвору відносно вузла координатної сітки;

$\delta_{\text{км}} = 0,15$ – відхилення встановлення центру контактного майданчика відносно вузла координатної сітки.

$$d_{\text{км}} = 0,95 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 = 1,79 \text{ (мм)},$$

Мінімальний діаметр майданчика:

$$\min d_{\text{км}} = d_{\text{км}} + 1,5h_{\text{ф}} + 0,03 \text{ мм} = 1,79 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,345 \text{ (мм)},$$

де $d_{\text{км}}$ - необхідний діаметр майданчика;

$h_{\text{ф}} = 35 \text{ мкм}$ – товщина покриття з мідної фольги.

Максимальний діаметр майданчику:

$$\max d_{\text{км}} = \min d_{\text{км}} + 0,02 \text{ мм} = 2,345 + 0,02 = 2,545 \text{ (мм)}.$$

Мінімальний ефективний діаметр майданчика для перехідного отвору

$$d_{\text{кмП}} = d_{\text{п}} + 2b_{\text{по}} + 2\delta_0 + 2\delta_{\text{км}} \quad (8)$$

$$d_{\text{кмП}} = 0,6 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 = 1,44 \text{ (мм)},$$

Діаметр майданчику для перехідного отвору

$$d_{\text{кмП}} = d_{\text{кмП}} + 0,03 \text{ мм} = 1,44 + 0,03 = 1,47 \text{ (мм)}$$

3.5.5 Обчислення мінімальної відстані між компонентами провідного
малюнку

Мінімальна відстань між провідником та контактним майданчиком:

$$S_{\min \text{ ПКМ}} = L_0 - (0,5 \cdot (\max d_{\text{км}} + b_{\text{дп}}) + \delta_{\text{фш}} + \delta_{\text{зс}}) \quad (9)$$

де $L_0 = 1,75$ мм - відстань між центрами;

$\delta_{\text{фш}} = 0,05$ мм – похибка розміщення контактного майданчика відносно вузла координатної сітки на фотошаблоні;

$\delta_{\text{зс}} = 0,08$ мм – зсув друкованого провідника відносно координатної сітки.

$$S_{\min \text{ ПКМ}} = 1,75 - (0,5 \cdot (2,545 + 0,2) + 0,05 + 0,08) = 0,25 \text{ (мм)},$$

Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками:

$$S_{\min \text{ СП}} = L_0 - (b_{\text{дп}} + 2 \cdot \delta_{\text{зс}}) \quad (10)$$

$$S_{\min \text{ СП}} = 0,6 - (0,2 + 0,16) = 0,24 \text{ (мм)}.$$

Мінімальний просвіт між двома сусідніми контактними майданчиками:

$$S_{\min \text{ КМ}} = 2L_0 - (\max d_{\text{км}} + 2\delta_{\text{фш}}) \quad (11)$$

$$S_{\min \text{ КМ}} = 3,5 - (2,545 + 0,1) = 0,85 \text{ (мм)}.$$

3.6. Електричний розрахунок друкованої плати

3.6.1 Обчислення падіння напруги на друкованих провідниках

$$U_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{max}} \cdot \rho \cdot l_{\text{пр}}}{t_{\text{пров}} \cdot b_{\text{дп}}} \quad (12)$$

$$U_{\text{пр}} = \frac{35 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0175 \cdot 0,11}{0,097 \cdot 0,2} = 3,47 \text{ (мкВ)}.$$

Максимальний спад напруги не повинен бути більше 5% напруги живлення схеми (для живлення +9 В це 0,45 В). Обчислене значення напруги на провідниках не перевищує дозволене значення.

3.6.2 Визначення потужності втрат

$$P_{\Pi} = 2\pi f E_{\text{жив}}^2 \operatorname{tg} \delta C, \quad (13)$$

де f – робоча частота схеми;

$E_{\text{жив}}$ - напруга живлення ;

$\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат (для склотекстоліту 0,002);

C – власна ємність плати.

$$C = \frac{0,009 \varepsilon S}{h_{\text{дп}}}, \quad (14)$$

де S [мм²] – площа металізації;

$h_{\text{дп}} = 35$ (мкм) - товщина провідника.

$$S = L_{\text{св}} \cdot b_{\text{дп}} \quad (15)$$

$$S = 900 \cdot 0,2 = 180 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Отже:

$$C = \frac{0,009 \cdot 4 \cdot 180}{1,5} = 8,04 \text{ (пФ)}.$$

Потужність втрат плати дорівнює:

$$P_{\Pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 81 \cdot 0,002 \cdot 8,04 = 204,5 \text{ (мкВт)}.$$

3.6.3 Обчислення вза'ємної ємності паралельних провідників

$$C = K_{\text{пог}} \cdot 0,5(\varepsilon_{\text{пов}} + \varepsilon_{\text{дп}}) \cdot l_{\text{пар}} \quad (16)$$

де $K_{\text{пог}} \left[\frac{\text{пФ}}{\text{см}} \right]$ – коефіцієнт погонної ємності (обчислюється з графіку

залежності ширини провідників та відстані між ними);

$\varepsilon_{\text{пов}} = 1$ – стала повітря;

$\varepsilon_{\text{дп}} = 4 \div 5$ – стала склотекстоліту;

$l_{\text{пар}} = 5$ см - протяжність пари паралельних провідників.

$$C = 0,3 \cdot 0,5(1 + 4,5) \cdot 5 = 4,12 \text{ (пФ)},$$

3.6.4 Обчислення взаємної індуктивності паралельних провідників

Визначимо взаємоіндуктивність пари паралельних провідників визначається за наступною формулою:

$$M = 0,02 \cdot l_{\text{шп}} \cdot \left(l_{\text{пар}} \cdot \lg \left(\frac{l_{\text{шп}}}{b+t} \right) + \frac{b+t}{l_{\text{шп}}} + 0,5 \right) \cdot 10^{-3} \quad (17)$$
$$M = 0,02 \cdot 1887 \left(5 \cdot \lg \left(\frac{1887}{0,097 + 0,5} \right) - \frac{0,097 + 0,5}{1887} + 0,5 \right) \cdot 10^{-3}$$
$$= 0,763 \text{ (мкГн)}.$$

3.7 Розрахунок надійності

Один з найважливіших параметрів системи є її надійність.

Надійність – це характеристика об'єкту зберігати з плином часу в обраних межах значення усіх параметрів системи, які показують можливість виконувати необхідні функції в потрібних режимах і сферах застосування, (ГОСТ 27.002-83).

Існує пара основних видів надійності:

- 1) технічна – яка встановлюється під виробництва системи на заводі;
- 2) експлуатаційна – яка визначається під час експлуатації незалежно від режиму роботи і кваліфікації користувача. Характеристиками цього типу надійності є безвідмовність, ремонтоздатність, довготривалість та збереження.

1. $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи;
2. $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов;
3. T – час роботи до відмови;
4. $Q(t)$ – імовірність відмов.

Характеристики компонентів для розрахунку показників надійності виробу зведені в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5.

Дані для розрахунку надійності

Найменування елементів	N i	λ_{03} , ч-1	K н	a_t	a_{Σ}	$\lambda_{p\bar{a}i}$
Конденсатори	6	3,30E-09	0,24	0,45	10	7,13E-09
Резистори	6	3,00E-09	0,2	1,3	10	4,68E-08
Світлодіоди	2	3,00E-09	0,2	1	10	1,2E-09
Трансформатор	1	3,00E-09	0,2	1	10	6E-09
ЕВ2209А	1	3,00E-09	0,7	1	9	2,1E-08
HEF4093BP	1	3,00E-09	0,8	1	9	2,16E-08
SN74HC08	1	3,00E-09	0,8	1	10	2,5E-08
L7809	1	3,00E-09	0,2	1	10	6E-09
Вихідні піни	15	2,00E-09	1	1	10	3E-07
BC557A	2	3,00E-09	0,8	1	9	4,32E-08
B540C	1	3,00E-09	0,8	1	9	2,16E-08
Друкована плата	2	2,00E-08	1	1	10	4E-07
Пайка виводів	41	5,00E-11	1	1	9	1,85E-08
СУМА						9,59E-07

де, N_i – кількість елементів;

λ_{03} – інтенсивність відмов у звичайному режимі роботи;

K_H – коефіцієнт навантаження;

a_t – температурний коефіцієнт;

a_{Σ} – коефіцієнт, який враховує умови експлуатації;

$$\lambda_{p\bar{a}i} = \lambda_{03} N_i K_H a_t a_{\Sigma}$$

Коефіцієнти навантаження компонентів обчислюється за формулами:

для інтегральних схем $K_H = \frac{\sum_{i=1}^n I_{exi}}{I_{выхmax}}$,

де, $I_{выхmax}$ – максимальний вихідний струм;

$I_{\text{вхi}}$ – вхідний струм інтегральних схем;

n – число навантажених входів;

для конденсаторів $K_H = \frac{U}{U_{\text{доп}}}$,

де U – напруга на обкладках;

для резисторів $K_H = \frac{P}{P_{\text{доп}}}$,

де P – розсіювана потужність.

1) Середній час роботи до відмови:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{рез}}} = \frac{1}{9,59 \cdot 10^{-7}} = 1100000 \text{ годин} \quad (18)$$

2) Імовірність безвідмовної роботи приладу в залежності від часу:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{рез}} t} \quad (19)$$

$$P(1000) = e^{-9,59 \cdot 10^{-7} \cdot 1000} = 0,9988$$

$$P(2000) = e^{-9,59 \cdot 10^{-7} \cdot 2000} = 0,9975$$

$$P(4000) = e^{-9,59 \cdot 10^{-7} \cdot 4000} = 0,9953$$

$$P(9000) = e^{-9,59 \cdot 10^{-7} \cdot 6000} = 0,9894$$

$$P(18000) = e^{-9,59 \cdot 10^{-7} \cdot 8000} = 0,9789$$

$$P(27000) = e^{-9,59 \cdot 10^{-7} \cdot 10000} = 0,9686$$

$$P(36000) = e^{-9,59 \cdot 10^{-7} \cdot 12000} = 0,9584$$

$$P(45000) = e^{-9,59 \cdot 10^{-7} \cdot 15000} = 0,9485$$

Імовірність відмов :

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (20)$$

$$Q(1000) = 1 - P(1000) = 0,0012$$

$$Q(2000) = 1 - P(2000) = 0,0025$$

$$Q(4000) = 1 - P(4000) = 0,0047$$

$$Q(9000) = 1 - P(9000) = 0,0106$$

$$Q(18000) = 1 - P(18000) = 0,0211$$

$$Q(27000) = 1 - P(27000) = 0,0314$$

$$Q(36000) = 1 - P(36000) = 0,0416$$

$$Q(45000) = 1 - P(45000) = 0,0515$$



Рис.3.1. Графік імовірності безвідмовної роботи печатного вузла

3.7.1 Розрахунок віброміцності

Для забезпечення віброміцності ДП потрібне задовільнити наступні вимоги:

- відсутність механічних резонансів;
- обмеження амплітуди віброколивань, що виключають небезпечні механічні навантаження.

Таблиця 3.6.

Параметри елементів

Найменування елементів	Ni	m, г
Транзистори	2	5
Конденсатори	6	1
Резистори	6	1
Зумер	1	4
Світлодіод	2	1
Мікросхема	2	6
Стабілізатор	1	3
Трансформатор	1	50

Вихідні піни	15	15
Роз'єми	1	2
Разом	88(г)	

Розміри плати з склотекстоліту:

$$a*b*\delta=37,5*60*1,5(мм) \quad (21)$$

коефіцієнт перевантаження $n = 8$, частота вібрацій 60Гц. Параметри склотекстоліту:

- тимчасовий опір $\sigma_T = 105$ Мпа;
- модуль Юнга $E = 3,2 \cdot 10^{10}$ Па;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,22$;
- показник затухання $\varepsilon = 0,06$;
- густина 2050 кг/м³;
- середня щільність $2,05 \cdot 10^4$ Н/м³;
- коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$;

Способи закріплення ДП:

$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) - \text{обпирання на чотири краї};$$

$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{1 + 0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2}} - \text{обпирання на три краї};$$

$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}} - \text{жорстке встановлення на чотири краї};$$

Обчислення:

1. Маса друкованої плати і елементів:

$$m_n = a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho = 0,0375 \cdot 0,06 \cdot 0,0015 \cdot 2050 = 0,0069 \text{ (кг)} = 6,9(г)$$

$$m_{\text{с}} = 88 \text{ (г)}.$$

2. Коефіцієнт K_B :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_{\text{ж}}}{m_{\text{п}}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{88}{6.9}}} = 0,26 \quad (22)$$

Коефіцієнт α . Відповідно до формули при жорсткому встановленні на 4 краї:

$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}} = 26,37 \quad (23)$$

3. Циліндрична жорсткість D:

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot (0,0015)^3}{12 \cdot (1 - (0,22)^2)} = \frac{101,925}{11,4192} = 8,926 (Hm) \quad (24)$$

4. Власна частота коливань ДП:

$$f_c = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\nu \cdot \delta}} = \frac{0,26 \cdot 26,37}{2 \cdot \pi \cdot 0,05^2} \cdot \sqrt{\frac{8,9 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} = 621 \cdot 1,68 = 1043 (Гц) \quad (25)$$

5. Амплітуда вібрацій при власній частоті:

$$A = \frac{0,25 \cdot n}{f_c^2} = \frac{0,25 \cdot 8}{1043^2} = 0,00000185 (м) = 1,85 (мкм) \quad (26)$$

6. Коефіцієнт динамічності:

$$K_{\delta} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 \cdot \varepsilon^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \frac{50}{1043}\right]^2 + \left(\frac{50}{1043}\right)^2 \cdot 0,6^2}} = 1,01 \quad (27)$$

7. Динамічний прогин:

$$W = K_{\delta} \cdot A = 1,001 \cdot 0,085 = 0,085 (мкм) \quad (28)$$

Прогин W не перевищує $\frac{1}{5}h$, отже умова віброміцності виконана.

3.7.2 Розрахунок теплового режиму

Елемент з найбільшим тепловим виділенням є інтегральна схема SN74HC08, оскільки вона використовує найбільший струм. Інтегральна схема повинна розсіювати $P = U \cdot I = 9 \text{ В} \cdot 20 \text{ мкА} = 180 \text{ мВт}$. Необхідно визначити чи є потреба в тепловідведенні.

Інтегральна схема знаходиться в роботі за нормальної конвекції та нормального тиску. Для корпусу SO-14 тепловий опір переходу корпус –

оточуюче середовище складає $R_{\text{корп. серед.}} = 60^\circ\text{C/Вт}$, а тепловий опір переходу напівпровідникового кристалу - корпус складає $R_{\text{нп. корп.}} = 10^\circ\text{C/Вт}$. Критична температура кристалу становить $T_{\text{кр.мах}} = 140^\circ\text{C}$. Для обчислення візьмемо значення температури навколишнього середовища на рівні $T_{\text{н.с}} = 20^\circ\text{C}$.

Температура кристалу:

$$T_{\text{кр}} = T_{\text{н.с.}} + P * \left(R_{\text{нп. корп.}} + R_{\text{корп. серед.}} \right) = 20 + 1,5 * (10 + 60) = 125^\circ\text{C} \quad (29)$$

Оскільки, $T_{\text{кр}} < T_{\text{кр.мах}}$, то радіатор для мікросхеми не потрібен.

3.8 Розробка посадкових місць

Корпус DIP14 (Dual In-line Package 14 legs). В цьому корпусі реалізована мікросхема HEF4093BP.

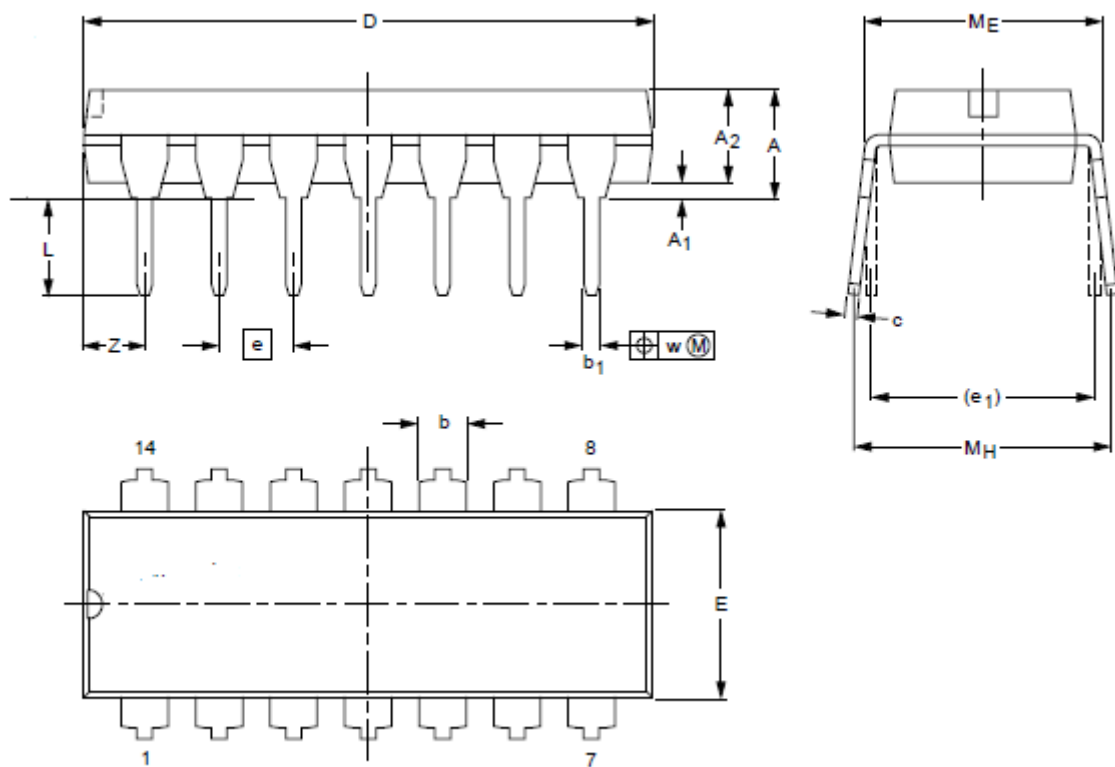


Рис 3.2. Розміри для корпусу DIP14

Таблиця 3.7.

Розміри для корпусу DIP14

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	-	-	4.2
A ₁	0.51	-	-
A ₂	-	-	3.2
b	1.13	-	1.73
b ₁	0.38	-	0.53
c	0.23	-	0.36
D	18.55	-	19.5
e	-	2.54	-
e ₁	-	7.62	-
L	3.05	-	3.6
M _E	7.8	-	8.25
M _H	8.3	-	10
w	-	0.254	-
Z	-	-	2.2

Корпус SO14 (Small-outline integrated circuit 14 legs). В цьому корпусі реалізована мікросхема SN74HC08.

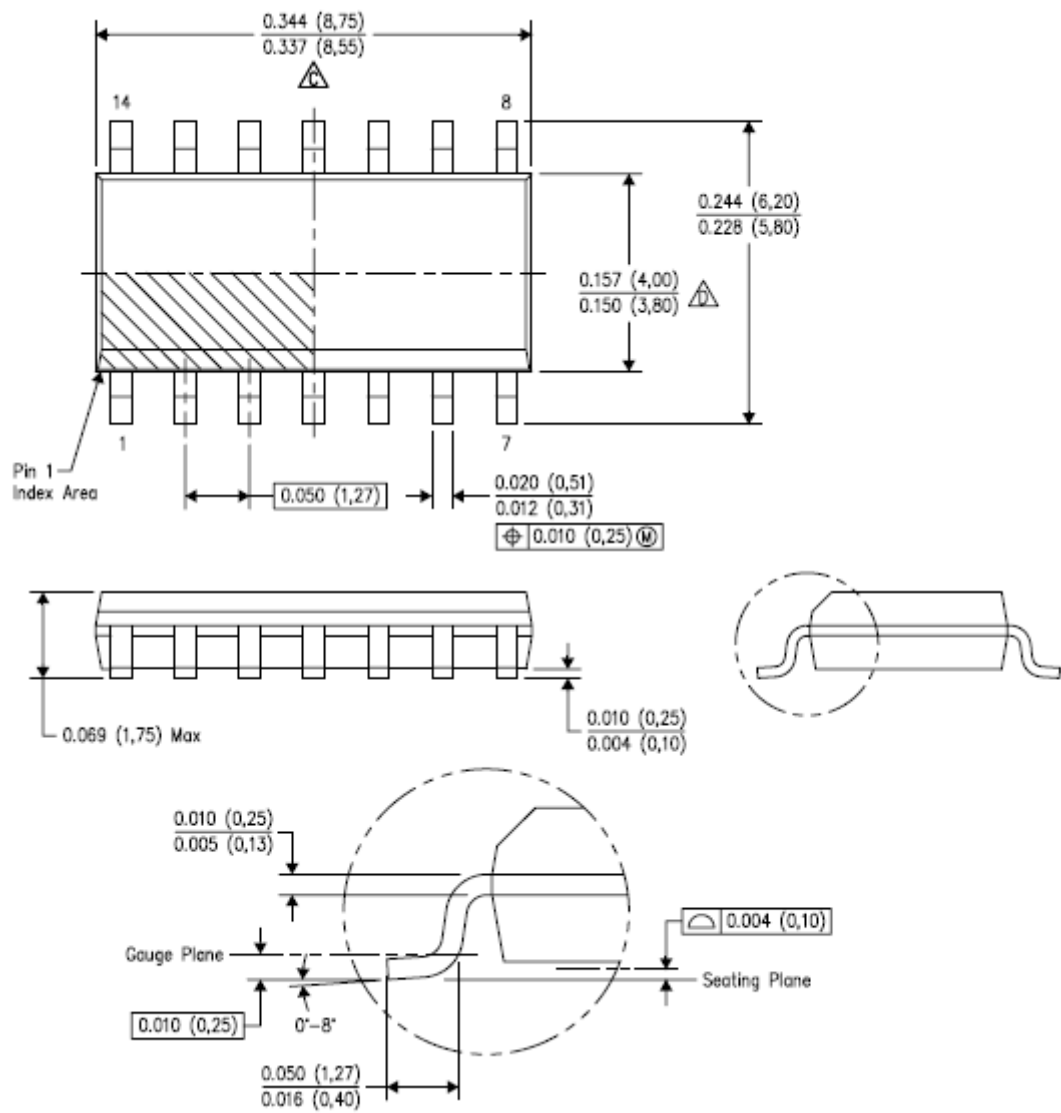


Рис 3.3. Розміри для корпусу SO14

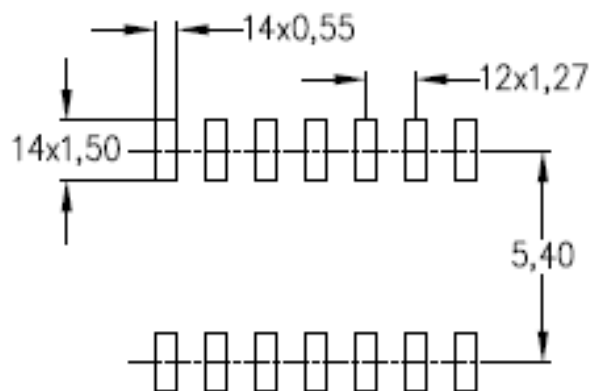


Рис 3.4. Розміри посадкових місць SO14

Корпус TO92. В цьому корпусі реалізований транзистор BC557A

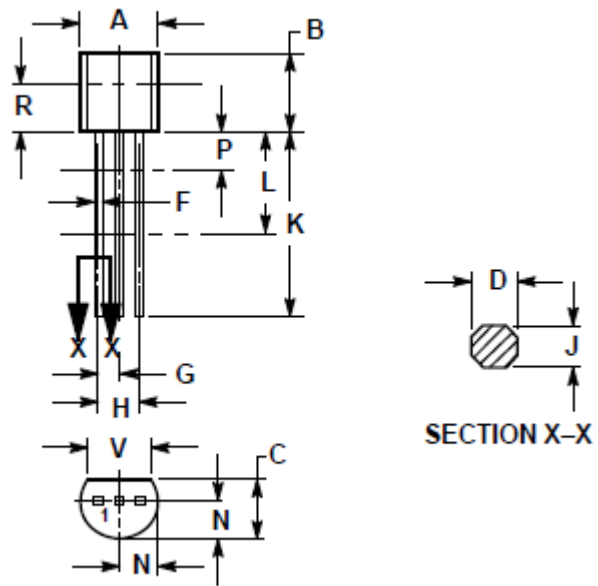


Рис 3.5. Розміри для корпусу TO92

Таблиця 3.8.

Розміри для корпусу TO92

Літера	Мінімальний	Максимальний
A	4.45	5.2
B	4.32	5.33
C	3.18	4.19
D	0.41	0.55
F	0.41	0.48
G	1.15	1.39
H	2.42	2.66
J	0.39	0.5
K	12.7	-
L	6.35	-
N	2.04	2.66
P	-	2.54

R	2.93	-
V	3.43	-

Корпус SMD 0805. В цьому корпусі реалізовані резистори та конденсатори.

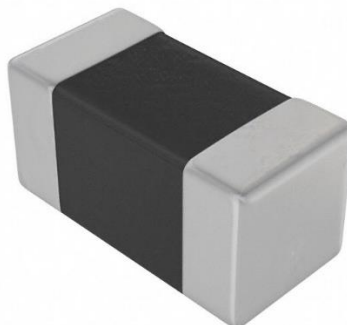


Рис 3.6 Корпус SMD 0805

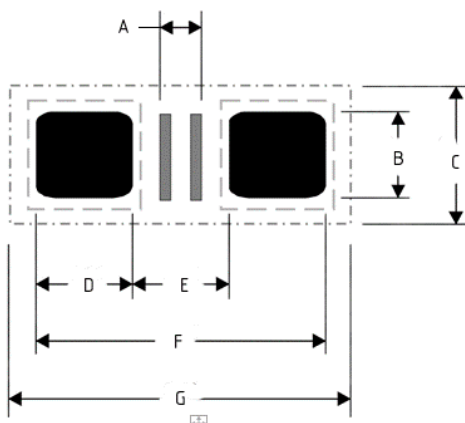


Рис 3.7. Посадкове місце SMD 0805

Таблиця 3.9.

Розміри для посадкового місця SMD 0805

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	1.5	1.5	1.5
B	0.8	0.8	0.8
C	1.9	1.9	1.9
D	0.9	0.9	0.9
E	2.3	2.3	2.3
F	2.7	2.7	2.7
G	3.4	3.4	3.4

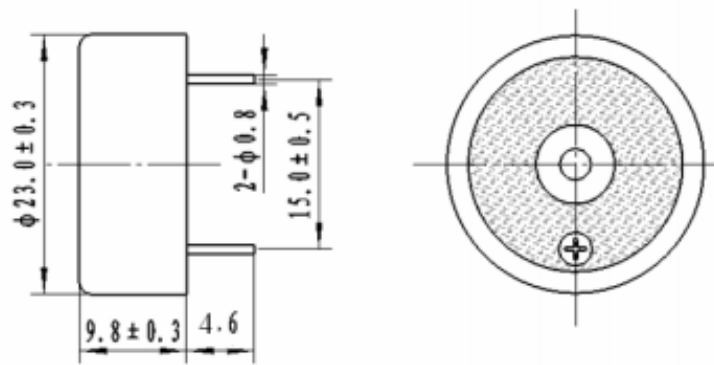


Рис 3.8. Розміри для зумера [19]

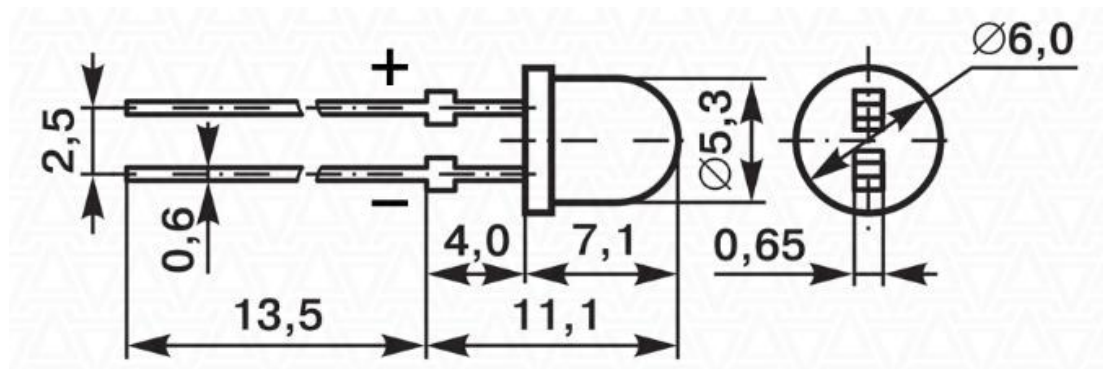


Рис 3.9. Розміри для світлодіода [20]

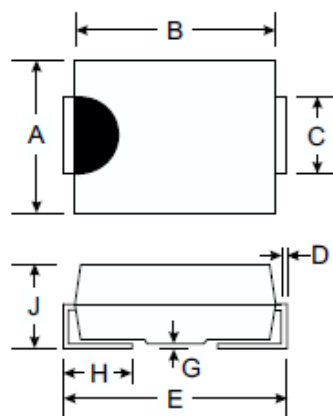


Рис 3.10. Корпус діода

Таблиця 3.10.

Розміри для корпусу діода

Літера	Мінімальний	Максимальний
A	5.59	6.22

Розміри корпусу TO220

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	4.5	-	4.9
B	2.34	-	2.74
D	2.56	-	2.96
E	0.45	0.5	0.6
F	0.7	-	0.9
G	-	5.08	-
L2	-	15.8	-
L4	9.45	-	10.05
L6	15.67	-	16.07

3.9. Створення друкованої плати у САПР

Для проектування ДП використовувалось програма EAGLE. EAGLE це система для створення схем електричних принципових та ДП.

Програма включає в себе графічний редактор схем (Schematic Editor), редактор друкованих плат (Layout Editor), вельми гнучкий і зручний редактор бібліотек (Library Editor) і автотрасувальник (Autorouter). Також до важливих функцій утиліти входять модулі, які перевіряють правильність підключення електричних ланцюгів (ERC - Electrical Rule Check) і правильність розташування компонентів на платі (DRC - Design Rule Check). Причому дві останні операції набагато приємніше реалізовані, ніж в інших аналогічних програмах, таких як P-CAD або ACCEL EDA, в яких для перевірки необхідно запускати додаткові програмні модулі, проте як в EAGLE все відбувається автоматично всередині програми.

EAGLE дозволяє проектувати багатошарові плати, що містять до 16 шарів і мають розміри 1626x1626 мм при роздільній здатності 0,0001 мм. Систему одиниць (дюймову або метричну) можна змінити на будь-якій фазі роботи з проектом без будь-яких втрат.

Весь функціонал САПР EAGLE можна розділити на 2 модулі:

- а) Модуль схем електричних принципових

- Схемний редактор (Schematic Editor);
- Контролер бібліотек (Library Editor - Необхідний для пошуку компонентів в бібліотеках та налаштування їх і створення);
- ERC модуль (Перевірка правил побудови схеми. Перевіряє з'єднання елементів, підключення живлення, наявність розривів та відповідність принципової схеми до друкованої плати);

Дозволяє створити ДП. При наявності побудованої принципової схеми

- Редактор друкованих плат (Layout Editor);
- DRC (Перевіряє правила проектування плати і дає можливість влення своїх, таких як ширина доріжок, діаметр отворів, тощо).
- Autorouter (Автоматичне трасування доріжок. Створює доріжки ідно до встановлених правил).
- Ratsnest (Оптимізація. Створює найоптимальніші маршрути).[21]

1) Створення схеми електричної принципової

Створюється схема електрична принципова та встановлюються зв'язки між компонентами схеми.

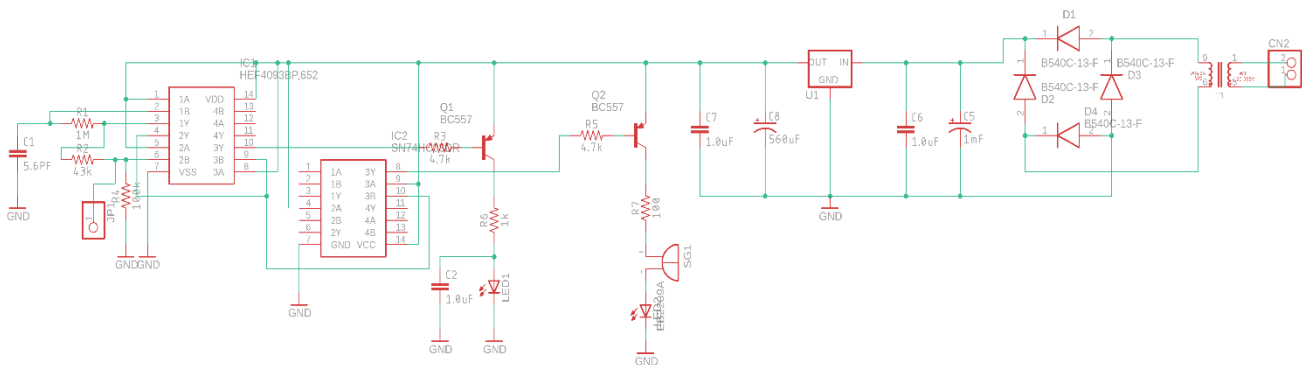


Рис.3.13. Електрична принципова схема у середовищі EAGLE

Після створення схеми електричної принципової при натисненні кнопки «створити/переключитися на схему» буде створено файл ДП. Після цього виконаємо автоматичне трасування доріжок, але при цьому встановлюємо

необхідні значення ширини доріжок, отворів, розмірів контактних площадок, відстані між ними та компонентами провідного малюнку. При цьому якщо не буде можливості оптимально розвести доріжки, будуть створені перехідні отвори для продовження доріжок на іншій стороні плати. Якщо шлях деяких доріжок вас не влаштовує завжди є можливість розвести вручну.

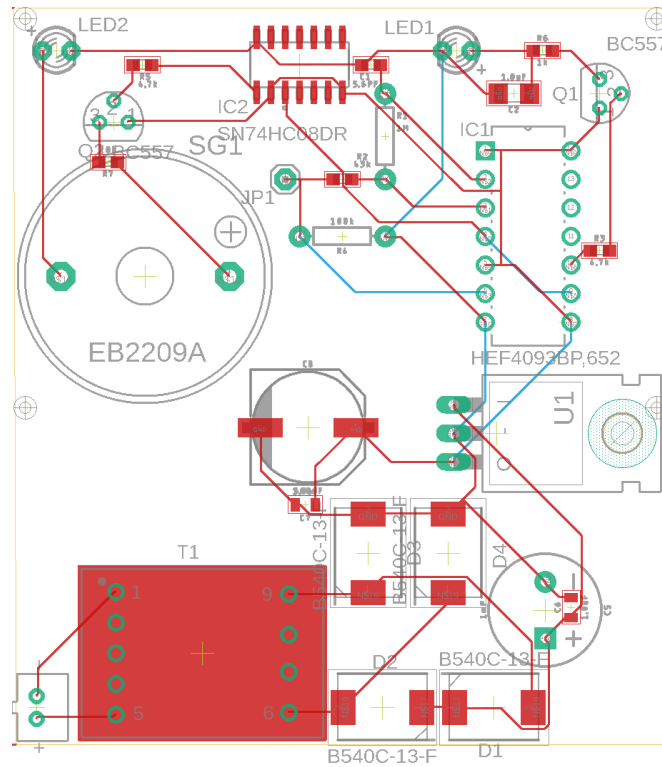


Рис.3.14. Розведена плата в середовищі EAGLE

Висновки

Під час розрахунку друкованої плати було визначено тип, матеріал і клас точності друкованої плати, був проведений розрахунок електричних параметрів плати, її надійності, віброміцності і теплового режиму. Було проведено розробку посадкових місць для компонентів схеми і створення плати в спеціалізованому програмному забезпеченні.

Вирішено реалізувати схему на двосторонній друкованій платі 2 класу точності. Розміри друкованої плати 60х67.5 мм, ширина провідників не менше 0,45 мм, максимальний діаметр майданчика 2,545 мм, мінімальна відстань між провідником та майданчиком 0,25 мм, між двома провідниками – 0,24мм, між двома майданчиками 0,85 мм. Під час розрахунку ДП не було перевищене допустиме падіння напруги (5% від $U_{жив}$) на найдовшому провіднику.

При розрахунку віброміцності вузла друкованої плати не було виявлено механічних резонансів і обчислене значення механічного прогину 0,085мм, що не перевищує допустиме значення (0,3мм).

ВИСНОВКИ

В рамках дипломного проекту було розроблено систему безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту для використання на сучасному виробництві електроніки. Головною задачею було створення функціонального, компактного і не дорогого приладу моніторингу заземлення оператора.

Було розглянуто умови індивідуального захисту від статичного заряду на виробництві і прилади, що використовуються для реєстрації і запобігання електростатичного розряду. Також проаналізовані методи моніторингу заземлення і визначено необхідні якості, які повинен мати прилад. Було обрано метод вимірювання ємності, серед інших методів антистатичного захисту на підприємстві, оскільки він є найбільш простим і повністю встановленій задачі, перевірки підключення браслету з людиною до заземлення.

Було розроблено структурна схема приладу і визначено функції і параметри кожного її блоку.

Було обрані компоненти схеми з необхідними функціями і параметри для реалізації приладу. Було проведено моделювання схеми в програмному середовищі Multisim, що підтвердило її працездатність та правильність роботи. Розроблена система має наступні характеристики:

- Світлова індикація
- Звукова сигналізація
- Живлення від промислової мережі
- Низьке енергоспоживання
- Захист від випадкового спрацювання
- Підключення до браслету оператора

Було проведено розрахунок параметрів друкованої плати, визначено її тип, матеріал і клас точності. Друкована плата спроектована за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Eagle Cad. Спроектовано систему безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту відповідає до технічного завдання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Антистатичний захист і статична електрика [Електронний ресурс]: - <https://masteram.com.ua/uk/articles-and-video/esd-safety/> - Назва з екрана.*
2. Основы статического электричества // **Компоненты и технологии**, № 3'2011, Александр Вотинцев, Иван Тренисов.
3. Основы защиты от статического электричества // **Компоненты и технологии**, № 5'2011, Александр Вотинцев, Иван Тренисов.
4. Тестер моніторингу браслету ESD [Електронний ресурс]: https://esd-line.ru/upload/medialibrary/466/TB_3072E_RUS.pdf - Назва з екрана
5. *Антистатика приборы мониторинга и аудита // **Компоненты и технологии**, № 2'2004, Виктор Новселев.*
6. *Схема ємнісного датчика на мікросхемі K561ТЛ1 [Електронний ресурс]: <http://radiostorage.net/1779-skhema-emkostnogo-datchika-na-mikroskheme-k561tl1-cd4093b.html> - Назва з екрана.*
7. Ємнісний датчик [Електронний ресурс]: <https://shema.info/uk/pobutova-elektronika/indikatori-detektori/7473-emnisnii-datchik.html> - Назва з екрана.
8. Нечаєв В. Ємнісне реле. - Радіо, 1988, № 1, с. 33.
9. Москвін А. Безконтактні ємнісні датчики. - Радіо, 2002, № 10, с. 38,
39. Автор: М. Єршов.
10. Кашкаров А.П. 500 схем для радиолюбителей. Электронные датчики.
11. *Стабілізований блок живлення на 9 В [Електронний ресурс]: - <https://huxfluxdeluxe.wordpress.com/2014/06/14/%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA-%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D0%BD%D0%B0-9-%D0%B2%D0%BE/> - Назва з екрана.*
12. Datasheet HEF4093B [Електронний ресурс]: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/HEF4093B.pdf> - Назва з екрана
13. Datasheet SN74HC08 [Електронний ресурс]: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/27876/TI/SN74HC08.html> - Назва з екрана

14. Datasheet L7809 *[Електронний ресурс]* :
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/185877/MICRO-ELECTRONICS/ML7809A.html> - Назва з екрана
15. Datasheet BC557 *[Електронний ресурс]* <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/16103/PHILIPS/BC557/1240/5/BC557.html> - Назва з екрана
16. Datasheet B540C *[Електронний ресурс]* :
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58882/DIODES/B540C.html> - Назва з екрана
17. Datasheet TH 48/25 G *[Електронний ресурс]* :
https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/th48-25g_tt-datasheet.pdf - Назва з екрана
18. Проектировани
е и технология печатных плат / Е.В. Пирогова – ИНФРА-М, 2005 – ISBN:5-16-001999-5 – 560с.
19. Datasheet EB2209 *[Електронний ресурс]* :
<http://www.farnell.com/datasheets/2171929.pdf> - Назва з екрана
20. Светодиоды *[Електронний ресурс]* :
<https://asenergi.com/catalog/svetodiody-dip/al-3l.html> - Назва з екрана
21. Інструкція до Eagle *[Електронний ресурс]* : <http://radio-hobby.org/modules/instruction/eagle> - Назва з екрана